

NIVA



RAPPORT LNR 4480-2002

Overvåking i 2001 av vannkvaliteten i Puttjernene og Puttjernsbekken i Østmarka

Sammenligning med resultatene fra undersøkelsene i 1998, 1999 og 2000



Nordre Puttjern 2001

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Overvåking i 2001 av vannkvaliteten i Puttjernene og Puttjernsbekken i Østmarka. Sammenligning med resultatene fra undersøkelsene i 1998, 1999 og 2000.	Løpenr. (for bestilling) 4480-2002	Dato 31.januar 2002
	Prosjektnr. Undernr. O-97234	Sider Pris 67 (inkl. tab.og fig.)
Forfatter(e) Pål Brettum Jan Eivind Løvik	Fagområde Vassdrag	Distribusjon
	Geografisk område Oslo	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Jernbaneverket, Region Øst	Oppdragsreferanse
------------------------------------------------	-------------------

Sammendrag

NIVA har i 2001 som i 1999 og 2000 gjennomført en overvåking av vannkvaliteten i Puttjernene og Puttjernsbekken i Østmarka i Oslo. Overvåkingen disse årene har vært en oppfølging av den mer omfattende undersøkelsen som ble gjort i 1998 av lokaliteter i Østmarka som direkte eller indirekte var berørt av lekkasjene til Romeriksporten i 1997-1998. Etter at en i tørre perioder kom i gang med å pumpe lekkasjevannet til tunnelen tilbake til fjellet via et infiltrasjonsanlegg, har en klart å holde vannstanden i Nordre Puttjern tilnærmet normal både i 1999, 2000 og 2001. Vannstanden har det meste av denne perioden vært så høy at vann har rent ut i Puttjernsbekken. Overvåkingen i 2001 viser at forholdene i Søndre Puttjern i store trekk har vært like gjennom alle de fire undersøkelsesårene 1998-2001, både hva angår fysisk-kjemiske forhold og dyre- og planteplankton. Tjernene ble kalket i august både i 2000 og 2001. I Nordre Puttjern viser analyseresultatene for de fysisk-kjemiske parametrene gjennom sesongen 2001 av blandprøvene for de øvre vannlag (0-2m) at pH har økt markert ikke bare etter kalkingen i august, men gjennom hele sesongen sammenlignet med tidligere år. Resultatene for konduktivitet viste en ytterligere nedgang, også sammenlignet med 2000. Det samme gjelder verdiene for 2001 av totalfosfor, totalnitrogen, TOC og jern, selv om verdiene fremdeles er høyere sammenlignet med Søndre Puttjern. Sammenligning av analyseresultatene for dypvannsprøvene fra de to tjernene viser at det ennå er betydelige forskjeller, men at pH i 2001 i Nordre Puttjerns dypvann hadde nådd omtrent samme nivå som i Søndre Puttjern, og at innholdet av jern og sulfat var redusert betydelig. Planteplanktonbiomassen og artsinventaret i Søndre Puttjern har vært relativt likt fra år til år gjennom undersøkelsesperioden og slik en forventer for denne type skogstjern. Planteplanktonbiomassen i Nordre Puttjern økte til det tredobbelte i 2000 sammenlignet med 1999, og algebiomassen i 2001 holdt seg på dette nivå samtidig som artsrikdommen hadde økt. Dyreplanktonet i Søndre Puttjern har i undersøkelsesperioden, også i 2001, vært artsrikt og hatt en sammensetning som forventet ut fra de naturgitte forhold. En observerte ikke markerte endringer i dyreplanktonet i dette tjernet i perioden 1998-2001. I Nordre Puttjern har den bedre vannkvaliteten hatt positive effekter på hjuldyrplanktonet i form av økt artsantall og biomasse for flere arter. Lite utviklet krepsdyrplankton i 2001 som tidligere, sannsynligvis på grunn av sterkt beitepress fra svevemyggen *Chaoborus* som har økt fordi tjernet mangler en fiskebestand. Den undersøkte bekkestasjonen i Puttjernsbekken viste at verdiene for de fleste parametre var jevnere gjennom sesongen 2001 enn tidligere. Resultatene for 2001 viser en bedring av vannkvaliteten i Nordre Puttjern sammenlignet med tidligere, men også at det vil ta en tid før forholdene i Nordre Puttjern blir tilnærmet lik forholdene i Søndre Puttjern, som en regner med ikke ble påvirket av lekkasjene til Romeriksporten.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Limnologiske undersøkelser	1. Limnological investigations
2. Vannkvalitet	2. Water quality
3. Overvåking	3. Monitoring
4. Østmarka, Oslo	4. Østmarka area, Oslo

Pål Brettum

Prosjektleder

Anne Lyche Solheim

Forskningsleder

Nils Roar Sælthun

Forskningsjef

ISBN 82-577-4128-0

O-97234

**Overvåking i 2001 av vannkvaliteten i Puttjernene
og Puttjernsbekken i Østmarka**

Sammenligning med resultatene fra undersøkelsene i
1998, 1999 og 2000

Forord

I 1998 ble flere innsjøer og bekker, som en antok kunne være berørt av lekkasjene til Romeriksporten, undersøkt. Etter at disse undersøkelsene var rapportert ba NSB Gardermobanen A/S, Norsk institutt for vannforskning (NIVA) om å utforme og gjennomføre et overvåkingsprogram for de lokaliteter som direkte eller indirekte viste seg å være berørt av lekkasjene.

I 1999 omfattet overvåkingen Søndre og Nordre Puttjern, samt Puttjernsbekken og Munkebekken. I tillegg ble det foretatt analyser av kjemiske prøver fra Lutvannsbekken og Kroktjernsbekken.

Analysene av prøver fra Lutvannsbekken og Kroktjernsbekken var en støtte til de undersøkelsene som LFI (Laboratorium for ferskvannsoøkologi og innlandsfiske) gjennomfører av fisk og bunnfauna i dette bekkesystemet.

Fra 2000 har det vært Jernbaneverket Region Øst som har vært oppdragsgiver.

I 2000 fulgte en i store trekk overvåkingsprogrammet fra 1999 med unntak av stasjonen i Munkebekken, som en fant ikke lenger var egnet som overvåkingsstasjon på grunn av lokale tilførsler.

I 2001 har overvåkingen omfattet Søndre og Nordre Puttjern samt Puttjernsbekken med samme analyseprogram som i 2000.

Alle kjemiske analyser av innsamlete vannprøver er utført ved Kjemisk laboratorium på NIVA.

Alt feltarbeid er utført med god assistanse av fagass. Jan Rokne, Dag Brettum og Kim Buchmann.

Analyse og sammenstilling av dyreplanktonmaterialet er, som tidligere år, utført av forskn.ass. Jarl Eivind Løvik.

Planteplanktonanalysene er utført av forsker Pål Brettum, som også har sammenstilt de fysiske-kjemiske analyseresultatene og er ansvarlig for utformingen av denne rapporten.

Oslo, 31. januar 2002

Pål Brettum

Innhold

Sammendrag og konklusjoner	5
Summary	10
1. Innledning	11
2. Prøvetakingsstasjoner, -program og frekvens	11
2.1 Innsjølokalitetene	11
2.2 Bekkelokalitetene	12
3. Nedbør- og lufttemperatur	14
4. Vannstands- og vannføringsvariasjoner	14
4.1 Vannstandsvariasjoner	14
4.2 Vannføringsmålinger	15
5. Fysisk-kjemiske forhold og plankton	18
5.1 Innsjøer	18
5.1.1 Fysisk-kjemiske forhold	18
5.1.2 Planteplankton og klorofyll	37
5.1.3 Dyreplankton	45
5.2 Bekkelokaliteter	50
5.2.1 Fysisk-kjemiske forhold	50
6. Referanser	54
7. Vedlegg	56

Sammendrag og konklusjoner

Denne rapporten omfatter resultatene av overvåkingsundersøkelsene i Puttjernene og Puttjernsbekken i sesongen 2001, og en sammenstilling av resultatene i hele undersøkelsesperioden 1998-2001 for disse lokalitetene.

Lekkasjer til Romeriksporten berørte en del vann og vassdrag i Østmarka. I den forbindelse ble det gjennomført en omfattende undersøkelse i 1998 av en rekke vannforekomster som en antok kunne være berørt av lekkasjene. Undersøkelsene ble gjennomført av NIVA (Norsk institutt for vannforskning) og LFI (Laboratorium for fersvannsøkologi og innlandfiske), den gang med NSB Gardermobanen A/S som oppdragsgiver, senere med Jernbaneverket Region Øst som oppdragsgiver.

Etter at disse undersøkelsene var gjennomført og resultatene rapportert, har NIVA i 1999, 2000 og 2001 gjennomført overvåking av deler av området. Denne overvåkingen omfattet i 1999 og 2000 Puttjernene og Puttjernsbekken, men fordi LFI skulle gjennomføre en treårsundersøkelse av fisk- og bunndyrforholdene, i første rekke i Lutvannsbekken, var det ønskelig med en undersøkelse av de fysiske-kjemiske forholdene også i dette bekkesystemet. Prøver for slike analyser ble derfor i tillegg samlet inn fra tre stasjoner der, to i selve Lutvannsbekken og en i Kroktjernsbekken som renner inn i Lutvannsbekken.

I 2001 har overvåkingen kun omfattet Puttjernene og Puttjernsbekken. I tjernene ble det gjennomført undersøkelser av fysiske-kjemiske parametre, planteplankton og dyreplankton, i bekken fysiske-kjemiske undersøkelser.

For å bedre forholdene rundt Puttjernsområdet og Puttjernene, og særlig Nordre Puttjern, ble det i 1999 satt igang et arbeide der en i tørre perioder pumpet vannet, som kom til tunnelen som lekkasjer, tilbake til fjellet ved hjelp av et infiltrasjonsanlegg. Dette skapte et mottrykk som dempet lekkasjene og hjalp til å holde grunnvannsnivået og vannstanden i tjernet.

Gjennom 1999 var vannstanden i både **Søndre** og **Nordre Puttjern** høy, og det rant vann ut av utløpene i begge tjernene store deler av året. Bare i den tørreste perioden i juli-september rant det ikke vann ut til bekkene, men vannstanden i begge tjernene, også **Nordre Puttjern**, holdt seg høy. I 2000 rant det vann ut av utløpet i Søndre Puttjern i perioder gjennom hele året, men mest i mai og juni og fra oktober og resten av året. I Nordre Puttjern rant det ut av utløpet i mai/juni og fra oktober og resten av året. I perioden fra juni til og med september var vannstanden under utløpshøyden. I 2001 har det rent vann ut av Nordre Puttjern til Puttjernsbekken så å si hele sesongen.

I **Søndre Puttjern** var temperatur- og oksygenforholdene og de vannkjemiske forholdene i 2001 i store trekk som i 1998, 1999 og 2000. Det har vært lite oksygen under ca. 5-6 m dyp. Vannmassene hadde i 2000 en relativt høy pH, men verdiene var noe lavere enn i 1999, rundt 6.5 frem til august. I august 2000 ble begge tjernene kalket, og verdiene for pH steg til mellom 7 og 7.5 i august og september, men sank noe igjen i oktober med mye nedbør. Gjennom 2001 viser resultatene at pH holdt seg forholdsvis høy, rundt 6.7-6.8 i vår/sommer perioden, og steg til 7.2-7.4 etter at tjernet i august 2001 på ny ble kalket. Kalkingen ga seg også utslag på verdiene for konduktivitet både i 2000 og 2001, som viste en tilsvarende økning i august og september. Med unntak av senhøsten med mye nedbør ble det i 2000 og 2001 registrert noe lavere verdier for fargetall og totalt organisk karbon (TOC) enn i 1999 og 1998, men som helhet kan en si at det for hele undersøkelsesperioden var forholdsvis små variasjoner i TOC og fargetall i Søndre Puttjern. Variasjonene var mye knyttet til

variasjoner i nedbør og utvasking av humusstoffer til tjernet. Heller ikke for næringsstoffene fosfor og nitrogen har det vært store variasjoner i undersøkelsesperioden 1998-2001, selv om innholdet av totalfosfor i 2000 og 2001 gjennomgående var litt lavere enn i 1998 og 1999.

I **Nordre Puttjern** fulgte variasjonene i temperatur og oksygen gjennom sesongen 2001 samme mønster som registreringene i 1998, 1999 og 2000, selv om overgangen til hydrogensulfidholdig vann i sesongen 2001 var omkring en meter dypere enn tidligere. De fysiske-kjemiske analyseresultatene av blandprøvene fra epilimnion viser at vannmassene der var betydelig mindre sure i 1999 sammenlignet med 1998. I 2000 var pH omtrent som i 1999 frem til august, men steg kraftig i august og september etter kalkingen. I 2001 har pH i epilimnion holdt seg høy i hele sesongen, men steget ytterligere etter kalking i august. I 1999 lå pH mellom 5.56 og 6.49, i 2000 mellom 5.69 og 6.74 og i 2001 mellom 5.99 og 6.95.

Konduktiviteten sank kraftig fra 1998 til 1999, noe som viser at vannmassene i epilimnion i 1999 var mindre ionerike. Gjennom 2000 holdt nivået for konduktivitet seg omtrent som i 1999, men en liten økning kunne en registrere også for denne parameter i august og september 2000 som en følge av kalkingen. I sesongen 2001 sank konduktiviteten ytterligere i epilimnion, men også da med en svak økning i august etter ny kalking. Innholdet av partikler var også markert mindre i 1999 sammenlignet med 1998, vist ved kraftig redusert turbiditet. Denne lave turbiditeten ble også registrert gjennom sesongen 2001. Fargetallet og TOC økte i 1999, særlig utover høsten, og viste mye høyere verdier enn i 1998. Ekstremt lav pH og foto-oksydasjon på grunn av liten vanngjennomstrømning førte til avfarging av humus i 1998.

Gjennom sesongen 2000 varierte partikkelinnholdet, målt som turbiditet, innenfor omtrent samme intervall som i 1999. Det samme var tilfelle med fargetallet og TOC noe som viser litt mindre påvirkning av humusstoffer i 2000. Siktedypet var 0.5-1.0 m mindre i 1999 enn i 1998 med størst forskjell om høsten, på grunn av mer humusrikt vann. Gjennom sesongen 2000 var siktedypet i Nordre Puttjern omtrent som i 1999. I sesongen 2001 har verdiene for turbiditet, fargetall og TOC i epilimnion i store trekk vært som i 2000. Siktedypet var gjennomgående 0.25-0.5 m større i 2001 sammenlignet med 2000. Verdiene for totalfosfor, som steg kraftig i 1999 sammenlignet med 1998, og også var forholdsvis høye i 2000, var markert lavere gjennom sesongen 2001. Også verdiene for totalnitrogen var lavere gjennom sesongen 2001 sammenlignet med tidligere år i undersøkelsesperioden.

Analysene av pH, konduktivitet, jern og sulfat i prøvene fra 2, 4 og 7 m dyp i Nordre Puttjern viste klar bedring av vannkvaliteten i alle dyp fra 1998 til 1999, størst endring i 4 m dyp. I 2000 registrerte en en økning i pH i alle dyp etter kalkingen i august, selv om den i de øverste vannlag sank noe etter mye nedbør i oktober. Konduktiviteten og innholdet av sulfat og jern lå i store trekk på samme nivå som i 1999. Gjennom sesongen 2001 holdt pH seg høy i alle dypene også før ny kalking i august. Verdiene for konduktivitet, men særlig sulfat og jern, viste en ytterligere og markert nedgang i 2001 sammenlignet med 2000.

En sammenligning er også gjort mellom analyseresultater for dypvannsprøver i Søndre og Nordre Puttjern. En går ut fra at forholdene i de to tjernene var relativt like før byggingen av Romeriksporten tok til, og at resultatene for Søndre Puttjern derfor kan fungere som referanse. Sammenligningen viser at det for parametrene konduktivitet, jern og sulfat, ennå var store forskjeller i verdiene i dypvannet i de to tjernene i 2001, og at det er svært høye verdier i Nordre Puttjern. Innholdet av sulfat og jern ble imidlertid kraftig redusert i 2001. For pH så en en økning etter kalkingen i august også i dypvannet fordi kalk sank ned i disse vannlag. Den høye pH holdt seg i dypvannet i begge tjernene frem til ny kalking i august 2001, slik at pH nå er omtrent på samme nivå for begge.

Planteplanktonanalysene for **Søndre Puttjern** viste at variasjonene i planteplanktonbiomasse lå omtrent på samme nivå i 1998 og 1999. I 2000 var verdiene litt lavere både målt som planteplanktonvolum og klorofyllinnhold, og resultatene for 2001 viste verdier omtrent som i 2000. Det er imidlertid

små variasjoner i planteplankton- og klorofyllmengde. De ligger innenfor rammen av det en må forvente av naturlige variasjoner fra år til år. Også sammensetningen av arter var mye den samme. Gruppen Dinophyceae (fureflagellater) var i sommerperioden den mest dominerende gruppen gjennom årene 1998-2000, men av mindre betydning i 2001. Mens det i 2000 kun sporadisk ble registrert individer av arter innen gruppen Cyanophyceae (cyanobakterier), var denne gruppen mer markert i 1998 og 1999 og om høsten også i 2001. Det er imidlertid arter innen denne gruppen som er naturlig for denne type humøse lokaliteter. Flest arter ble i 2001 som i 1998, 1999 og 2000 registrert innen gruppen Chrysophyceae (gullalger). Dette er en viktig gruppe i Søndre Puttjern, selv om den er mindre dominerende i dette kalkete tjernet enn den normalt ville vært i mer sure skogstjern. Den prosentvise andelen av gruppen økte imidlertid noe i 2000 og 2001 sammenlignet med de foregående år. Planteplanktonet viste stort mangfold med et samlet antall taksa i 1998 på 63, i 1999 på 61, i 2000 på 70 og i 2001 på 63.

Dyreplanktonet i **Søndre Puttjern** var relativt artsrikt og hadde i hovedsak en sammensetning som forventet ut fra de naturgitte forholdene. Planktonet var dominert av små individer av krepsdyr og hjuldyr, noe som trolig skyldtes hardt beitepress fra planktonspisende abbor. Nedgangen i biomassen av vannlopper fra 2000 til 2001 skyldtes antagelig dårligere tilgang på føde i 2001 eventuelt i kombinasjon med økt beitepress fra abbor. Bortsett fra den nevnte nedgangen i middelbiomassen har vi ikke observert markerte endringer i dyreplanktonet i perioden 1998-2001.

Planteplanktonanalysene i **Nordre Puttjern** viser at totalvolumet også i dette tjernet varierte noe, men registrert maksimum lå omtrent på samme nivå de to årene 1998 og 1999. I 2000 hadde planteplanktonbiomassen økt kraftig med et registrert maksimum og gjennomsnitt tre ganger så høyt som i 1999. Dette høye nivå for planteplanktonbiomasse holdt seg også gjennom 2001. En dominans av gruppen Cryptophyceae (svelflagellater) ble registrert alle årene på ettersommeren og høsten, mens våren og forsommeren var dominert av gruppen Chrysophyceae (gullalger) i 1998, 1999 og 2000. Denne gruppen var av mindre betydning i 2001. Gruppen Dinophyceae (fureflagellater) har økt gjennom undersøkelsesperioden, og var den mest dominerende gjennom sesongen 2001. Flest arter fant en innen gruppen Chrysophyceae i 1998, men det totale arts-/ taksa-antall var bare 36 det året. Diversiteten økte kraftig i 1999 med 51 registreerte arter/taksa. I 2000 var antallet omtrent som 1999, med 49 arter/taksa mens antall registrerte arter/taksa i 2001 var økt til 57. Det økte mangfold av arter i 1999 og 2000 og videre gjennom sesongen 2001, henger sannsynligvis sammen med de høye pH-verdiene som en registrerte i epilimnion i 1999 og som økte ytterligere i 2000 og 2001 etter kalkingen i august begge årene. De mer forsuringfølsomme artene kom tilbake i planteplanktonsamfunnet. Denne prosessen tar litt tid, noe som sannsynligvis var årsaken til at en ikke registrerte økningen alt i 1999 på tross av økning i innholdet av næringsstoffer da. Mange arter har vist seg å forsvinne fra planteplanktonsamfunnet når pH blir lavere enn ca. 5-5.5. Gruppen Chlorophyceae (grønnalger) avtok i mengde ettersom vannmassene ble mindre sure. Dette er noe som en ofte registrerer i forbindelse med kalking av sure innsjølokaliteter.

Den bedre vannkvaliteten i **Nordre Puttjern** har hatt positive effekter på hjuldyrplanktonet i form av økt artsantall og større biomasser av flere arter. Krepsdyrplanktonet var imidlertid svært sparsomt utviklet også i 2001. Sterkt beitepress fra svevemygglarven *Chaoborus* var sannsynligvis den viktigste årsaken til dette. Middelbiomassen har variert betydelig i årene 1998-2001. Dette henger antagelig sammen med de ustabile forholdene i tjernet både mht. vannkjemiske faktorer og biologiske faktorer som næringstilgang og predasjon fra *Chaoborus*.

Av de tidligere undersøkte bekkelokalitetene ble bare Puttjernsbekken (P1) undersøkt også i 2001. Vannkvaliteten i **Puttjernsbekken (P1)** var stort sett den samme i 2001 som i 1998, 1999 og 2000 sesongen sett under ett. Noen parametre varierte imidlertid en del avhengig av om prøvetakingsstasjonen fikk vann hovedsakelig fra myrområdene vest for stasjonen og andre områder, eller fra Puttjernsbekken når det rant vann av betydning i den. I 2001 rant det vann fra Nordre Puttjern til Puttjernsbekken det meste av sesongen, noe som virket utjevrende på innholdet av flere parametre.

Konklusjon Overvåkingsundersøkelsene i 1999 viste at hevingen av vannstanden i Nordre Puttjern og den relativt stabile vannstanden, med overløp store deler av sesongen og metting av myrområdene rundt tjernet, var vellykket for å bedre vannkvaliteten i tjernet.

Selv om det ennå er et godt stykke frem til at forholdene blir slik de var før lekkasjene til Romeriksporten startet, viser analyseresultatene for 2000 og 2001 at det har skjedd en ytterligere bedring for flere parametre både i de øverste vannlag (epilimnion) og i dypvannet (hypolimnion), særlig i 2001.

Det er i undersøkelsesperioden registrert en økning i totalfosfor og i 2000 og 2001 en tredobling i planteplanktonbiomasse i Nordre Puttjern. Det økte fosforinnholdet en registrerte fra 1998 til 1999 kan muligens skyldes at fosfor, som ble bundet under perioden med oksyderende forhold i myrområdene rundt tjernet når vannstanden sank, løstes ut igjen når vannstanden steg til normalt nivå, og en fikk reduserende forhold. Innholdet var høyt i 2000 også, men mindre enn i 1999, og det sank ytterligere i 2001. Fosforinnholdet viser derfor en minkende tendens. Årsaken til økningen i algebiomasse og artsdiversitet skyldes antagelig at den økende pH i vannmassene har gjort at mer forsuringssømfintlige arter kommer tilbake i planteplanktonsamfunnet og at det økte fosforinnholdet har gitt økt algebiomasse. Det er rimelig å tro at det tar en tid for artene å etablere seg og reagere på de endrete forholdene i vannmassene.

Den bedrete vannkvaliteten har ført til økt antall og større biomasse av flere hjuldyrarter. Krepsdyrplanktonet har imidlertid vært sparsomt i Nordre Puttjern i hele undersøkelsesperioden, sannsynligvis på grunn av sterkt beitepress fra svevemyggen *Chaoborus* som økte i mengde på grunn av mangel på fisk i tjernet.

I Søndre Puttjern har forholdene både med hensyn til kjemisk-fysiske parametre, planteplankton og dyreplankton vist relativt små variasjoner fra år til år i undersøkelsesperioden. Resultatene viser verdier som en, ut fra de naturgitte forholdene, erfaringsmessig kan forvente i et humøst skogstjern.

Forholdene i Søndre Puttjern må en anta er mye lik forholdene slik de var i Nordre Puttjern før lekkasjene og sammenligner en de to tjernene på denne bakgrunn er det klart at det er et stykke frem til Nordre Puttjern blir helt restituert, selv om resultatene gjennom undersøkelsesperioden 1998-2001 har vist en klar bedring i vannkvaliteten i Nordre Puttjern.

Analyseverdiene for Puttjernsbekken i 2001 lå i store trekk omtrent på samme nivå som i 1998, 1999 og 2000 for de fleste parametre, selv om det var en del variasjoner gjennom sesongene.

**Klassifisering av tilstand for Søndre og Nordre Puttjern 1998, 1999, 2000 og 2001. Etter SFTs
Veiledning 97:04: "Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann".**

Lokalitet	pH	Alk	Turb	Farge	TOC	Tot-P	Tot-N	Jern	Klorofyll	Samlet
Søndre Puttjern 1998										
Søndre Puttjern 1999										
Søndre Puttjern 2000										
Søndre Puttjern 2001										

*) Det ble ikke analysert på alkalitet i prøvene fra Søndre og Nordre Puttjern i 2000.

Lokalitet	pH	Alk	Turb	Farge	TOC	Tot-P	Tot-N	Jern	Klorofyll	Samlet
Nordre Puttjern 1998										
Nordre Puttjern 1999										
Nordre Puttjern 2000										
Nordre Puttjern 2001										

Klasse I "Meget god" tilstand



Klasse IV "Dårlig" tilstand



Klasse II "God" tilstand



Klasse V "Meget dårlig" tilstand



Klasse III "Mindre god" tilstand



For Nordre Puttjern er resultatene for en del parametre i den nedre delen av intervallene de er klassifisert i, på overgangen mot en bedre tilstandsklasse. Dette kommer imidlertid ikke frem på den relativt grove klasseinndelingen ovenfor. Flere parametre viser en bedring i 2001 sammenlignet med tidligere år.

Summary

Title: Monitoring of water quality during 2001 of the tarns Søndre and Nordre Puttjern and the brook Puttjernsbekken in the Østmarka area. A comparison with the results from the monitoring in 1998, 1999 and 2000.

Year: 2001

Authors: Pål Brettum and Jarl Eivind Løvik

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 82-577-4128-0

Building the railway tunnel Romeriksporten caused leakage of water into the tunnel, and lowering of the ground-water level in parts of the Østmarka area in 1997-98. A comprehensive investigation of the water quality and ecological status in lakes and brooks was carried out in 1998. This investigation showed that most of the damage of the leakage was restricted to the tarn Nordre Puttjern, where the water level in 1998 was 3-4 m below the outlet level. The tarn Søndre Puttjern has functioned as a reference site.

Raising the water level in lake Nordre Puttjern by means of injection of leakage water from the tunnel to the ground in dry periods, has made it possible to keep the ground water level and the water level of the tarn. However, it is still far from the conditions before the leakage started, even though parameters like pH, conductivity, turbidity, total phosphorus, total nitrogen and iron show better conditions through the season 2001 than the monitoring period before. The report gives the monitoring results of 2001 of the water bodies of Søndre and Nordre Puttjern and the brook Puttjernsbekken, and a comparison with the results of the previous years of monitoring.

1. Innledning

Lekkasjer til Romeriksporten i forbindelse med byggingen av denne, berørte en del vann og vassdrag i Østmarka i områdene over strekningen for tunnelen. I den forbindelse ble det gjennomført en omfattende undersøkelse i 1998 av en rekke vannforekomster som en antok kunne være berørt av lekkasjene. Undersøkelsene ble gjennomført av NIVA (Norsk institutt for vannforskning) og LFI (Laboratorium for fersvannsøkologi og innlanfiske), med NSB Gardermobanen A/S som oppdragsgiver. Senere har Jernbaneverket Region Øst vært oppdragsgiver.

Parallellt med dette ble det satt igang tettningarbeider inne i tunnelen i områdene der lekkasjene var størst, for å få lekkasjene ned på et akseptabelt nivå. Dette var i hovedsak under Puttjernsområdene og under Lutvatn.

For å bedre forholdene rundt Puttjernsområdet, og særlig Nordre Puttjern, ble det i 1999 satt igang arbeid der en pumpet vannet, som kom til tunnelen som lekkasjer, tilbake til fjellet via et infiltrasjonsanlegg, slik at dette skulle skape et mottrykk til det inntrengende vannet. Anlegget blir satt igang for å holde grunnvannsnivået og vannstanden i tjernet i tørre perioder.

Etter at undersøkelsene i 1998 var gjennomført og resultatene rapportert (Brettum og medarb.1999), ble NIVA bedt om å utforme og gjennomføre en overvåkingsundersøkelse av de områdene der det var registrert endringer på grunn av lekkasjene. Overvåkingsundersøkelsene i 1999 omfattet i første rekke Puttjernene og Puttjernsbekken. Resultatene fra overvåkingen i 1999 er rapportert i Brettum og Løvik (1999).

Fordi LFI skulle gjennomføre en undersøkelse av fisk- og bunndyrforholdene i Lutvannsbekken, var det ønskelig med en undersøkelse av de fysiske-kjemiske forholdene også i dette bekkesystemet. Prøver for slike analyser ble derfor i tillegg samlet inn fra tre stasjoner der i 1999.

Overvåkingsprogrammet for 1999 ble i store trekk fulgt og gjennomført også i sesongen 2000. I forhold til programmet for 1999 ble imidlertid bekkestasjonen i Munkebekken (M1) ikke tatt med da en fant at denne ikke lenger var egnet som overvåkingsstasjon på grunn av lokale tilførsler. Resultatene for 2000 er rapportert i Brettum og Løvik (2001).

I 2001 har overvåkingsundersøkelsene kun omfattet de to Puttjernene og Puttjernsbekken.

Denne rapporten omfatter resultatene av overvåkingsundersøkelsene i 2001, og en sammenligning med resultatene fra 1998, 1999 og 2000.

2. Prøvetakingsstasjoner, -program og frekvens

De aktuelle prøvetakingsstasjonene i forbindelse med overvåkingsundersøkelsene i 2001, er vist i figur 1.

2.1 Innsjølokalitetene

Som i 1999 og 2000 var det under overvåkingsundersøkelsene i 2001 bare de to små tjernene Søndre og Nordre Puttjern av innsjølokaliteter som ble undersøkt. Søndre Puttjern viste seg under undersøkelsene i 1998 ikke å være påvirket i nevneverdig grad av lekkasjene. Det har derfor senere

fungert som referanselokalitet under overvåkingsundersøkelsene i 1999, 2000 og 2001, mot forholdene i Nordre Puttjern. En må anta at forholdene i Søndre og Nordre Puttjern var svært like før lekkasjene til Romeriksporten. Søndre Puttjern, som renner nordover til Nordre Puttjern, er derfor en god referanselokalitet for å undersøke hvor mye lekkasjene har endret vannkvaliteten i Nordre Puttjern, og hvor langt den har fjernet seg fra det normale. Dette er viktig for å registrere eventuelle bedringer.

Overvåkingsprogrammet for 2001 startet med første prøvetaking i mars mens isen ennå lå på tjernene, og prøver fra tjernene ble samlet inn én gang i måneden i perioden mars-oktober med unntak for april.

Prøvene for fysisk-kjemiske analyser omfattet blandprøver fra 0-6 m sjiktet i Søndre Puttjern og 0-2 m sjiktet i Nordre Puttjern. I Nordre Puttjern ble bare tatt med 0-2 m for å unngå H₂S-holdig vann. I tillegg kom prøvene fra 8 m dyp i Søndre Puttjern og 2, 4 og 7 m dyp i Nordre Puttjern.

Analyseprogrammet for de fysisk-kjemiske blandprøvene omfattet pH, konduktivitet, turbiditet, farge, tot-P, PO₄-P, tot-N, NH₄, NO₃, TOC, Fe, Mn, Na, Ca, Mg, K, Cl og SO₄. For på en enkel måte å følge med i utviklingen i ulike dyp i Nordre Puttjern, ble det samlet inn ekstra prøver fra 2, 4 og 7 m dyp, ved hver prøvetakingsdato. Disse ble analysert med henyn på pH, konduktivitet, Fe og SO₄. Prøver for disse parametrene ble også samlet inn fra 8 m dyp i Søndre Puttjern for å kunne sammenligne forholdene i dypvannet.

Prøver for planteplankton og dyreplankton ble samlet inn som blandprøver i epilimnion, ved hvert prøvetakingstidspunkt i vekstsesongen mai-oktober, samtidig med vannprøver for analyse av klorofyll. Ved prøvetakingene i august, september og oktober 1999 ble blandprøvene for klorofyll tatt noe for dypt. Dette gjorde at store bestander av fotosyntetiserende bakterier kom med i prøvene, og ga et unormalt høyt klorofyllinnhold. Slike bakterier ligger ofte i store konsentrasjoner i området mellom oksygenholdig og oksygenfritt, H₂S-holdig vann. Denne overgangssonen kan ofte være svært skarp, slik at en lett får vannhenteren ned under dette sjiktet, og dermed får med store konsentrasjoner av disse bakteriene. For å unngå dette ble blandprøvene tatt i 0-2 m sjiktet både i 2000 og 2001.

I forbindelse med prøvetakingsinnsamlingen ble temperatur og oksygen målt i ulike dyp langs en vertikal gradient fra overflaten til bunnen over det dypeste området i innsjøene. Til innsamlingen av vannprøvene ble det benyttet en 3 liters Limnos-henter.

2.2 Bekkelokalitetene

I tillegg til prøveinnsamling og analyse av prøver fra de to Puttjernene omfattet overvåkingsprogrammet i 2001 også fysisk-kjemiske analyser av prøver samlet inn fra Puttjernsbekken (P1), før samløp med Grønnliabekken.

Fra Puttjernsbekken (P1) er det samlet inn og analysert prøver gjennom hele perioden 1998-2001.

Fra bekkestasjonen ble det også samlet inn prøver én gang i måneden i 2001. Første prøveinnsamling ble foretatt 22. mai, da tykt iskjold og mye snø hindret prøvetaking i bekken under feltarbeidet 28. mars. Prøver ble samlet inn til og med oktober.

Analyseprogrammet for prøvene fra bekken omfattet pH, konduktivitet, alkalitet, turbiditet, farge, tot-P, tot-N, TOC, Al/R og Al/II.

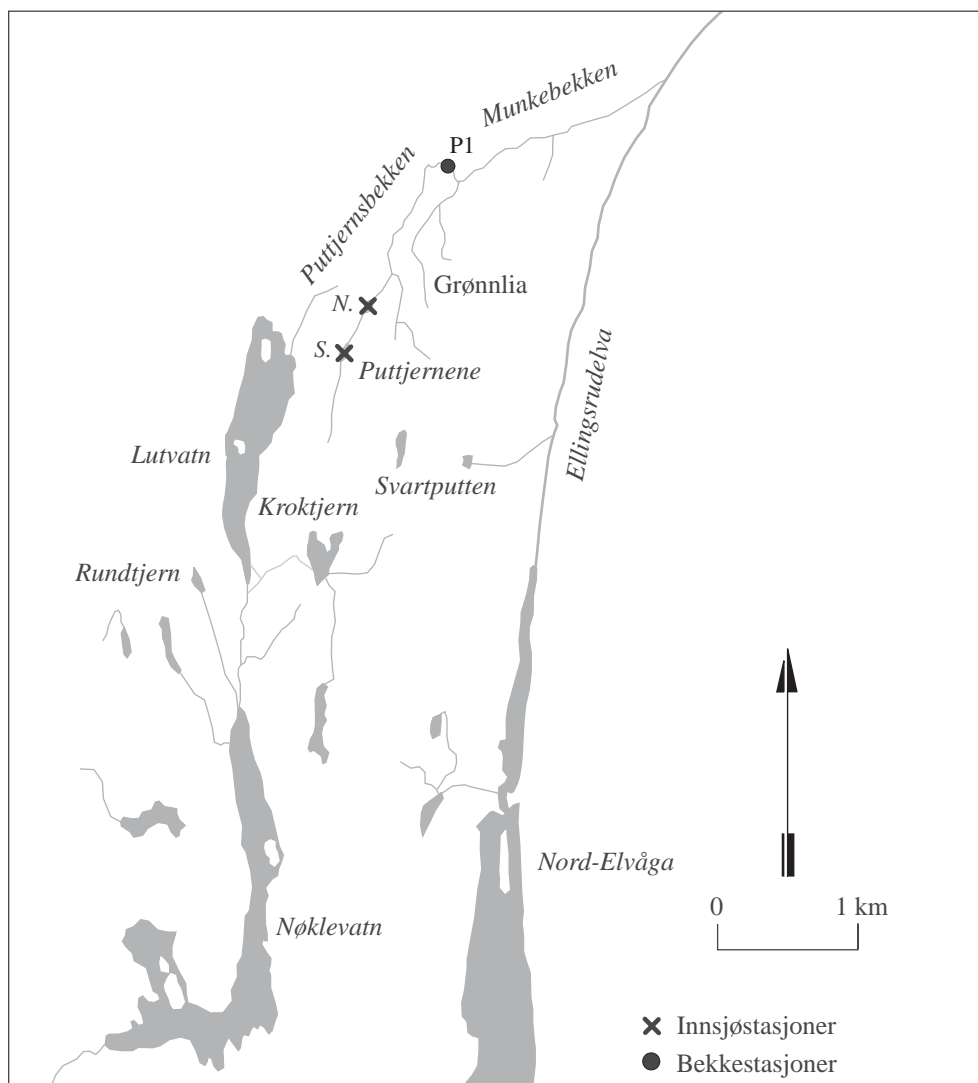


Fig. 1 Kartskisse som viser plasseringen av prøvetakingsstasjonene i Puttjernene og Puttjernsbekken gjennom overvåkingsundersøkelsene 2001.

3. Nedbør- og lufttemperatur

I figur 2 er fremstilt variasjonene i nedbør og lufttemperatur målt av DNMI, Det norske meteorologiske institutt, på Blindern. Disse registreringene bør være representative i store trekk for variasjonene i nedbør og lufttemperatur slik de var i Østmarkas vestre deler i 1998, 1999, 2000 og 2001, selv om enkelte lokale forhold vil spille inn. Figurene viser månedsmiddel for temperaturen de fire årene og nedbørmengden pr. måned for de samme årene sammen med normalverdiene. Da månedsmiddel er grove mål for å vurdere avrenningen til bekkene, særlig i periodene før prøvetakingene, har en sett mer i detalj på måleresultatene for nedbør i perioden før tidspunktene for prøvetakingene, selv om disse ikke er tatt med i figuren.

Figuren viser at temperaturen sommeren 2001 i stor grad fulgte normaltemperaturen det meste av våren og forsommeren. På ettersommeren og høsten lå den tildels over normalen. Til forskjell fra de tidligere årene var det betydelig kaldere i vinterperioden og tidlig vår. Normaltemperaturen er snittet av målingene fra 1961-1990.

Ser en på nedbørsforholdene gjennom de to årene 2000 og 2001 for perioden januar-oktober, viser disse at nedbørsmengden som månedssum i 2001 lå lavere enn normalen i vintermånedene. I april og i mai lå nedbøren i 2001 omtrent på samme nivå som i 2000 og godt over normalen. I juni var det mindre nedbør enn normalt mens det i juli og august var som normalt. I september var det mindre nedbør enn normalt mens det i oktober kom betydelig mer, men ikke så mye som i 2000.

4. Vannstands- og vannføringsvariasjoner

Vannstandsmålingene og vannføringsdata i de undersøkte bekkene og innsjøene ble samlet inn og bearbeidet av NVE (Norges vassdrags- og energiverk) frem til årsskiftet 1999/2000. I 2000 og 2001 ble vannstandsdataene for Puttjernene registrert av NSB Gardermobanen A/S og Jernbaneverket Region Øst.

4.1 Vannstandsvariasjoner

I figur 3 er fremstilt vannstandsvariasjonene for de to undersøkte innsjølokalitetene, Søndre- og Nordre Puttjern.

Søndre Puttjern

Som i 1999 rant det vann ut av Søndre Puttjern i utløpet mot nord til Nordre Puttjern i 2000 det meste av året, med unntak av kortere perioder i juni, juli og september. I 2001 rant det derimot vann ut av Søndre Puttjern store deler av sesongen med unntak av en periode i juni og juli som figur 3 viser. Overløpshøyden gitt i kotehøyde er 265.10 m for dette tjernet.

Nordre Puttjern

Kotehøyden for overløp fra Nordre Puttjern til Puttjernsbekken er 263.90 m. Vannstandsmålingene som er vist i figur 3 for Nordre Puttjern viser at vann rant ut av tjernet til Puttjernsbekken bare i korte perioder i mai og juni og fra oktober og utover i 2000 i motsetning til i 1999 da det rant ut store deler

av sesongen. Tiltaket i Romeriksporten, med i tørre perioder å pumpe lekkasjevannet til tunnelen tilbake inn i fjellet ved et infiltrasjonsanlegg for å motvirke grunnvannsdrainering, har imidlertid holdt grunnvannspeilet i Puttjerns-området mer stabilt og også opprettholdt en tilnærmet normal vannstand i tjernet. Kun noen korte perioder i juni og juli rant det ikke vann ut av tjernet. Resten av sesongen rant vann fra tjernet til bekken som figur 3 viser, og vannstanden i tjernet virket stabil.

Det er en fordel at en i tørre perioder regulerer nivået i tjernet ved hjelp av infiltreringsanlegget slik at en i størst mulig grad holder fullt basseng i tjernet, med overløp til bekken. Dette for å holde grunnvannstanden og for at myrområdene rundt tjernet ikke skal bli tørrlagt slik tilstanden var i 1997-98.

4.2 Vannføringsmålinger

Vannføringsmålinger foreligger for 2001 fra målestasjonen i nærheten av bekkelokaliteten som vannprøver er samlet inn fra i Puttjernbekken (P1) i sesongen 2001.

Vannførings-målingene for Puttjernsbekken i 2001 (figur 3) viser at det rant vann i bekken i varierende mengder gjennom hele sesongen. Variasjonene gjenspeiler i første rekke variasjonen i nedbør. I oktober 2001 økte vannføringen sterkt på grunn av de store nedbørmengdene og overløp fra Nordre Puttjern. Maksimum vannføring i 2001 var 113 l/s.

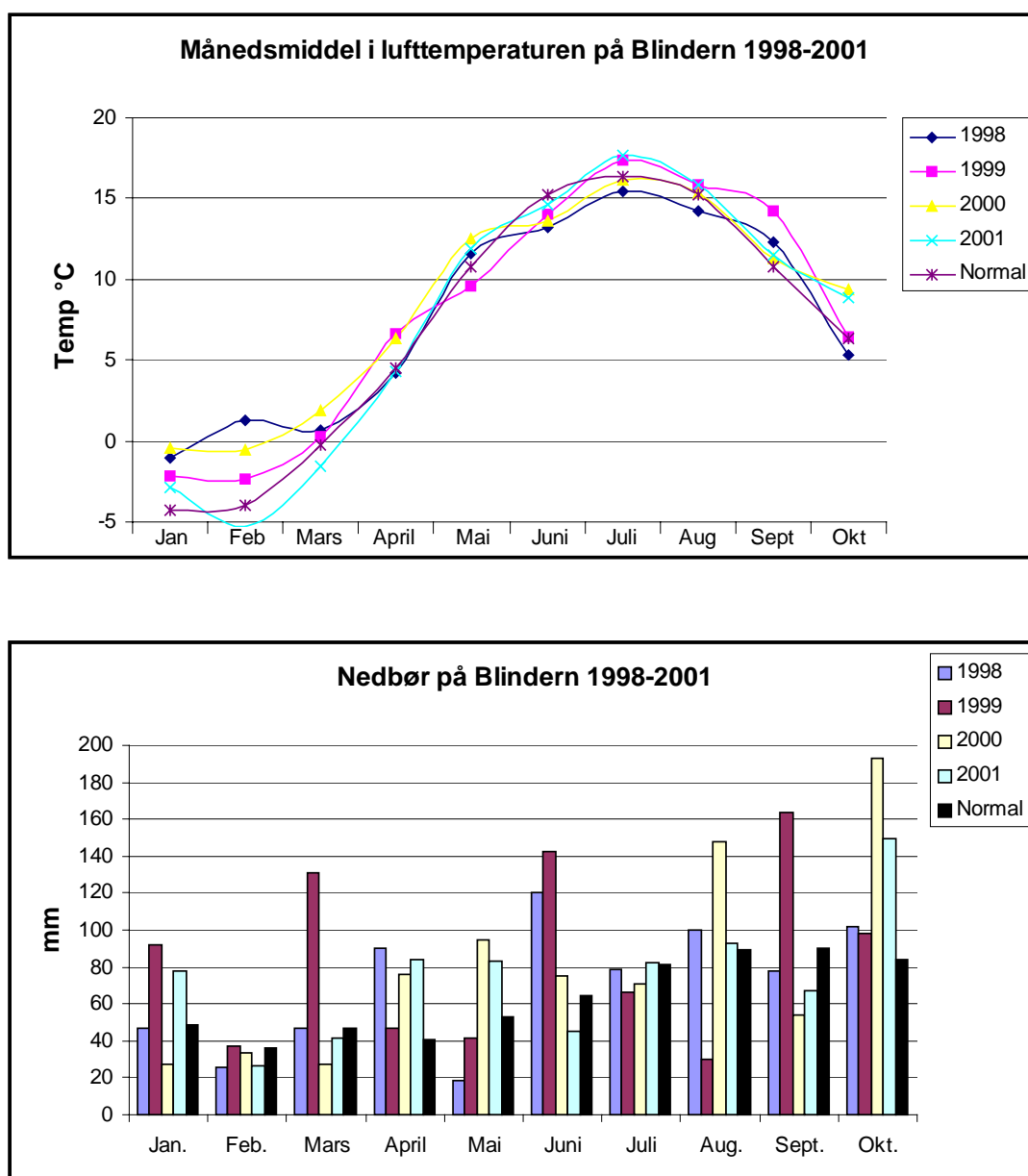


Fig. 2 Variasjoner i månedsmiddel for perioden januar-oktober av lufttemperatur og nedbørsmenge pr.måned på Blindern 1998-2001.

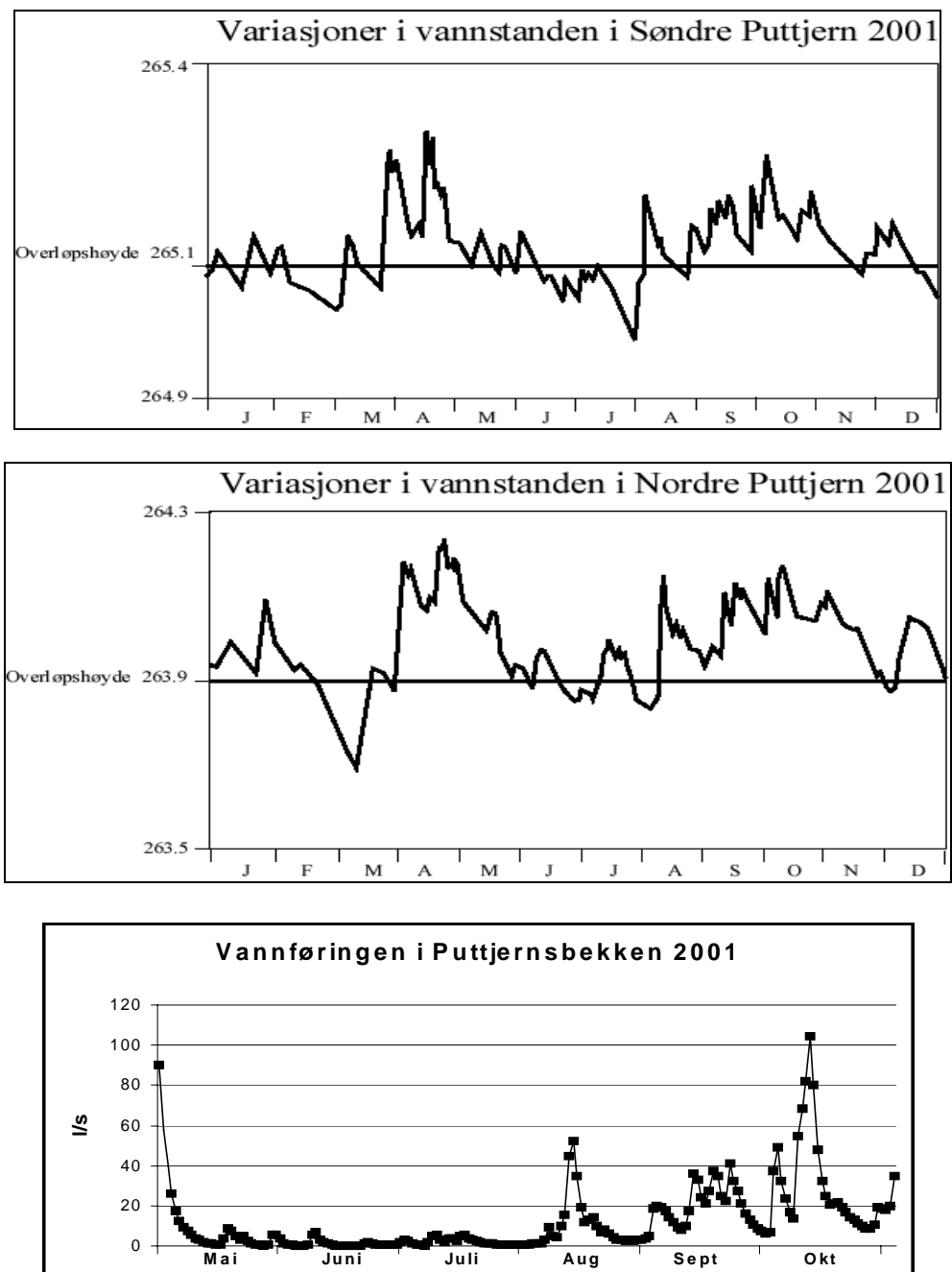


Fig. 3 Variasjoner i vannstand i Søndre og Nordre Puttjern og vannføringen i Puttjernsbekken (P1) i 2001.

5. Fysisk-kjemiske forhold og plankton

5.1 Innsjøer

5.1.1 Fysisk-kjemiske forhold

Analysemetodikken for de fysisk-kjemiske parametrene følger Norsk Standard (NS). Til analyse av næringssaltene fosfor og nitrogen er benyttet en automatisert versjon av Norsk Standard. Analysene av TOC (totalt organisk karbon) er utført gjennom oksydasjon ved UV-belysning og peroksodisulfat.

Det er i hovedsak de analyserte blandprøvene fra epilimnion som danner grunnlaget for omtale og bedømmelse av de kjemisk-fysiske forhold i innsjøene.

Variasjonene i de viktigste fysisk-kjemiske parametrene for bedømmelse av miljøkvalitet etter SFTs: "Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann", Veiledning 97:04 (Bratli og medarb. 1997), er fremstilt for Søndre og Nordre Puttjern i forbindelse med sammendraget foran. Forøvrig er alle analyseresultater å finne under vedlegget bakerst i rapporten.

Som nevnt tidligere ble det fra begge de undersøkte innsjølokalitetene, Søndre og Nordre Puttjern, målt temperatur og oksygenkonsentrasjon i ulike dyp gjennom hele vannsøylen over de dypeste områdene ved hvert prøvetakingstidspunkt. Målingene av oksygeninnholdet ble utført ved hjelp av et oxymeter.

Søndre Puttjern

Temperatur- og oksygenforhold (figur 4 , tabell 1 i vedlegg)

Temperaturvariasjonene i Søndre Puttjern fra overflaten til bunnområdene ved største dyp viser en typisk vintersituasjon 28. mars mens isen lå på tjernet. Det var en jevnt stigende temperaturkurve gjennom vannsøylen under isen, fra 0.6 °C i de øverste vannlag til 5.0 °C i bunnlagene. Det var noe høyere temperatur gjennom hele vannsøylen sammenlignet med samme tidspunkt i 2000. I siste delen av mai var temperaturen til gjengjeld noe lavere i de øvre vannlag sammenlignet med 2000, og temperaturen fra 4 m og dypere var mellom 4.5 og 4.9 °C. Oppvarmingen av de øvre vannlag gikk noe senere i 2001 sammenlignet med 2000.

Temperaturen i sommerperioden juni, juli og august viser omtrent den samme temperaturen i overflaten på alle tre måletidspunktene, ca. 16 °C. Under ca. 6-7 m lå temperaturen hele sommerperioden lavere enn 6 °C. Selv om termoklinen ble skarpere utover sommeren ble den mindre tydelig i 2001 sammenlignet med 2000. I august 2001 var det en temperatur på 15.5-16.0 °C ned til 2 m, mens vannlagene i august 2000 hadde denne temperaturen noe dypere på samme tidspunkt. I september var det til gjengjeld betydelig høyere temperaturer, 11-12 °C , ned til 4 m dyp og en hadde en svak termoklin mellom 4 og 6 m. Vannmassenes temperatur i de øvre vannlag var markert høyere i september 2001 sammenlignet med 2000, men i oktober var temperaturen sunket til mellom 8-9 °C fra overflaten ned til 5 m dyp med god gjennomblanding. Blanding av vannmassene og nedbryting av termoklinen var nesten fullført på dette tidspunktet. Selv om det var visse forskjeller i temperaturen, særlig i de øvre vannlag, de to årene, viser utviklingen gjennom sesongen i hovedsak det samme mønsteret.

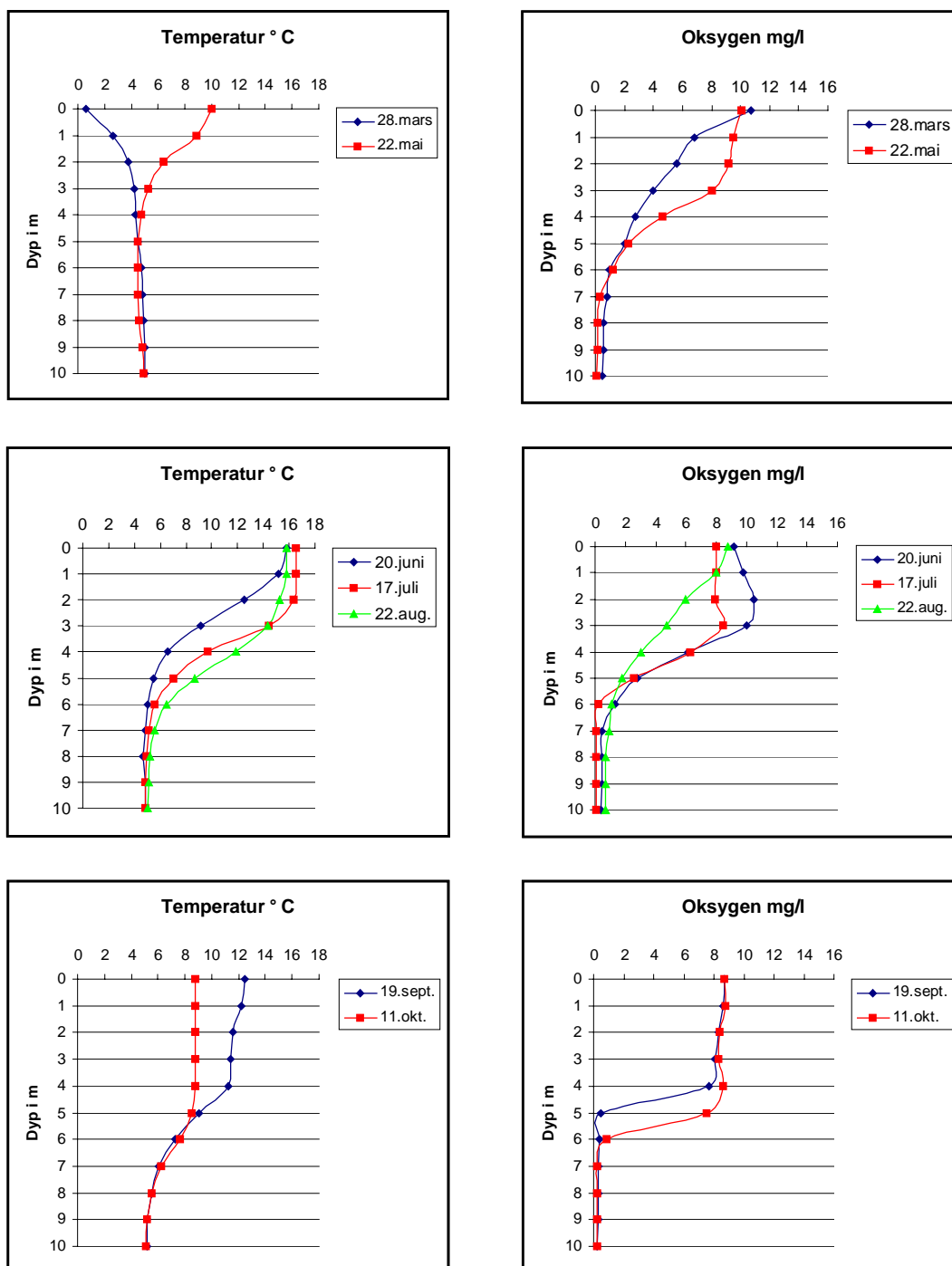


Fig. 4 Vertikale variasjoner i temperatur og oksygen i Søndre Puttjern 2001.

Oksygeninnholdet i mars 2001 var i overflaten betydelig lavere enn året før, bare 10.7 mg/l O₂, og sank raskt til 6.8 mg/l O₂ på 1 m dyp. Deretter sank det jevnt nedover. Under ca. 7-8 m dyp var det oksygenfritt og noe lukt av hydrogensulfid på 9 m.

I mai var oksygeninnholdet i overflaten omtrent som i mars med omkring 10 mg/l O₂ og oksygeninnholdet var forholdsvis høyt ned til 3 m. Deretter avtok det jevnt ned til 7 m. Under 7 m var det tilnærmet oksygenfritt i mai, men det var ingen lukt av hydrogensulfid fra vannet før på ca. 9 m dyp.

I juni og juli viser oksygenkurvene i store trekk samme vertikale forløp men med 2 mg/l O₂ mer i juni sammenlignet med juli i de øverste 3 m. Videre nedover var oksygenkurven for de to månedene like, selv om det var tilnærmet oksygenfritt i 6 m i juli men først i 7 m i juni. Ingen lukt av hydrogensulfid i juni eller juli selv på 8-9 m dyp.

Oksygeninnholdet i august var i overflaten omtrent som i juni og juli 2001, omkring 9 mg/l O₂, men avtok så jevnt ned til 6-7 m der det var tilnærmet oksygenfritt. Oksygeninnholdet i august var betydelig lavere mellom 1 m og 5 m sammenlignet med juni og juli 2001. Heller ikke i august var det likevel lukt av hydrogensulfid før på 8-9 m dyp, selv om det var praktisk talt oksygenfritt vann under 6-7 m dyp.

I september var oksygenrikere vann, med 8-9 mg/l O₂, blandet inn i vannmassene ned til 4 m dyp. Mellom 4 og 5 m ble oksygeninnholdet raskt redusert til praktisk talt oksygenfritt, men ingen lukt av hydrogensulfid her heller før ca. 8 m dyp. I oktober var innblanding av oksygenrikere vann med omkring 8 mg/l O₂ trengt ned til 5 m dyp. Deretter skjedde en rask reduksjon til nær oksygenfritt under 6 m. Ingen H₂S lukt i oktober heller før 8-9 m dyp. Oksygenutviklingen i september og oktober 2001 var svært lik utviklingen i 2000, men i 2000 hadde det oksygenrikere vannet trengt omtrent en meter dypere på de samme tidspunktene.

Kjemiske forhold (figur 5 og 6, og tabell 3 i vedlegget)

Søndre Puttjern har et lite nedbørfelt, med hovedtilførsler fra områder syd for tjernet. En del av nedbørfeltet er myrområder. Tjernet er kalket flere ganger gjennom 90-årene men ikke i 1999, ifølge Oslomarkas Fiskeadministrasjon (OFA). Det ble gjennomført en kalking av begge Puttjernene i august både i 2000 og 2001.

Figur 5 viser at vannmassene i Søndre Puttjern hadde en pH omkring 6.7 før kalkingen i august 2001, da den økte til mellom 7.2-7.4. Variasjonene i pH var i store trekk som i 2000. Som figuren viser steg verdiene for pH i august og september 2000 etter kalkingen, for så å synke igjen i perioden med mye nedbør i oktober. I 1998 ble det kalket i området, og pH var da i gjennomsnitt 7.01 for sesongen. Det ble ikke analysert på alkalitet i 2000, men i 1999 lå den mellom 0.116 og 0.344 mmol/l, og i 2001 mellom 0.077 og 0.094 mmol/l før kalkingen, for så å øke til mellom 0.353 og 0.384 etter kalkingen.

Kalsiuminnholdet, som i blandprøvene i 1998 varierte mellom 4.98 og 9.51 mg/l Ca, varierte i 1999 mellom 4.19 og 7.86 mg/l Ca, i 2000 mellom 3.54 og 7.88 mg/l Ca og i 2001 mellom 2.60 og 8.45 mg/l Ca, mer enn det dobbelte etter kalkingen sammenlignet med før. Konduktiviteten i Søndre Puttjern var i 2001 omtrent som i 2000 eller noe lavere, som figur 5 viser, og det har vært en svak nedgang her sesongene sett under ett i perioden 1998-2001. Gjennomsnittsverdien var i 2001 3.74 mS/m mens den i 1998 var 5.11 mS/m, i 1999 4.30 mS/m og i 2000 4.05 mS/m. Kalkingen i august påvirket både pH, konduktiviteten og kalsiuminnholdet og ga et noe unormalt bilde av utviklingen for disse parametrene sammenlignet med at det ikke var kalket.

Gjennom sesongen 2001 var turbiditeten gjennomgående noe høyere enn de foregående årene, som figur 5 viser, selv om tallene viser at vannmassene i Søndre Puttjern har et lite partikkelinnhold. I 2001

var gjennomsnittet på 0.94 FNU (tidligere FTU), mens det var på 0.53 FTU i 1998, 0.55 FTU i 1999 og 0.75 FTU i 2000. Figuren viser at turbiditeten har hatt en stigende tendens selv om verdiene er lave.

Fargetallene var forholdsvis høye gjennom hele sesongen i Søndre Puttjern i 2001, særlig mot høsten med større utvasking av humusstoffer til tjernet. Høyeste verdi ble registrert i oktober, men verdiene varierte mellom 29.8 og 52.6 med et snitt på 36.8 mg/l Pt. Dette er i snitt omtrent som i 2000 da verdiene varierte mellom 24.9 og 56.7 (oktober) med et snitt på 31.7 mg/l Pt.

I 1998 varierte verdiene mellom 21.7 og 39.6 med et snitt på 29.2 mg/l Pt og i 1999 mellom 24.9 og 43.4 med et snitt på 35.8 mg/l Pt for blandprøvene. Som figur 5 viser lå variasjonene i fargetall omtrent på det samme nivå de fire årene.

Innholdet av totalt organisk karbon (TOC), var relativt jevnt gjennom sesongen, med unntak for oktober, og varierte for blandprøvene mellom 4.6 og 7.9 (oktober) mg/l C i 2001. Gjennomsnittet var 5.9 mg/l C. Figur 6 viser at det for det meste var noe mindre organisk karbon (TOC), med unntak for verdiene både i 2000 og 2001 i oktober, enn i 1998 og 1999.

Innholdet av jern varierte en god del mer gjennom sesongen i 1999 enn i 1998, og til tider var det betydelig høyere verdier. I 2000 derimot ble det registrert lavere verdier for jern det meste av sesongen sammenlignet med 1999, og omtrent på nivå med målingene i 1998. Oktoberprøven viste høyere verdier også for jern i 2000. I 2001 viser figur 6 at det for sesongen som helhet var noe høyere nivå for jernverdiene enn de fleste tidligere registreringene. Variasjonene i jerninnhold i 1999 var fra 240 µg/l Fe i mai og 185 i september med mye vann i terrenget og høy vannstand, til 77 µg/l Fe i august etter lengre tids tørke og lav vannstand. Snittet var da 146 µg/l Fe. I 1998 var verdiene generelt lavere og jevnere gjennom sesongen, fra maksimum på 120 µg/l Fe i oktober til minimum 50 µg/l Fe i august og et snitt på 99 µg/l Fe. Jerninnholdet varierte i 2000 mellom 77 og 180 (oktober) µg/l Fe med et snitt på 105 µg/l Fe. I 2001 varierte jerninnholdet mellom 120 og 180 i blandprøvene med et snitt på 160 µg/l Fe.

Figur 6 viser at innholdet av totalfosfor og totalnitrogen i vannmassene i Søndre Puttjern i store trekk varierte innenfor de samme intervallene både i 1998, 1999, 2000 og 2001. I 1998 mellom 4 og 9 med snitt 6.25 g/l P, i 1999 mellom 3 og 9 med et snitt på 6.13 µg/l P, i 2000 mellom 4 og 8 med et snitt på 5.14 µg/l P og i 2001 mellom 4 og 7 med et snitt på 5.42 µg/l P.

Totalnitrogen varierte mellom 240 og 415 med et snitt på 341 µg/l N i 1998, mellom 265 og 460 med et snitt på 358 µg/l N i 1999, mellom 245 og 375 med et snitt på 296 µg/l N i 2000 og mellom 260 og 375 med et snitt på 303 µg/l N i 2001.

Innholdet av fosfat lå gjennom hele sesongen 2001 på 1 eller mindre enn 1 µg/l P, med unntak for juni da det var 2 µg/l P, og innholdet av nitrat sank til 1 eller mindre enn 1 µg/l N i sommer-høstmånedene mens planteplanktonbiomassen var størst i Søndre Puttjern (se under kapittel 5.1.2 om planteplankton og klorofyll).

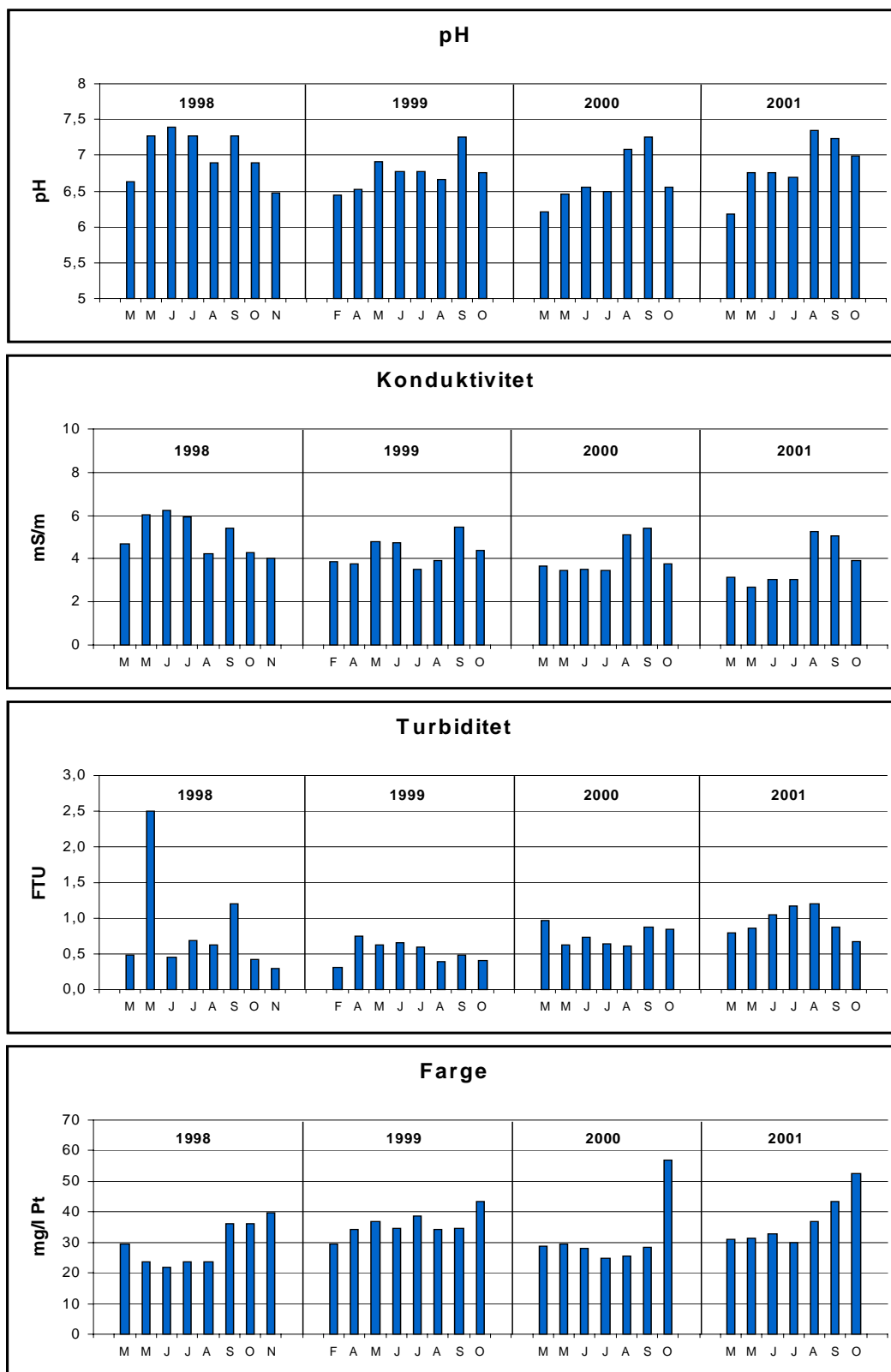


Fig. 5 Variasjoner i pH, konduktivitet, turbiditet og farge i Søndre Puttjern 1998, 1999, 2000 og 2001.

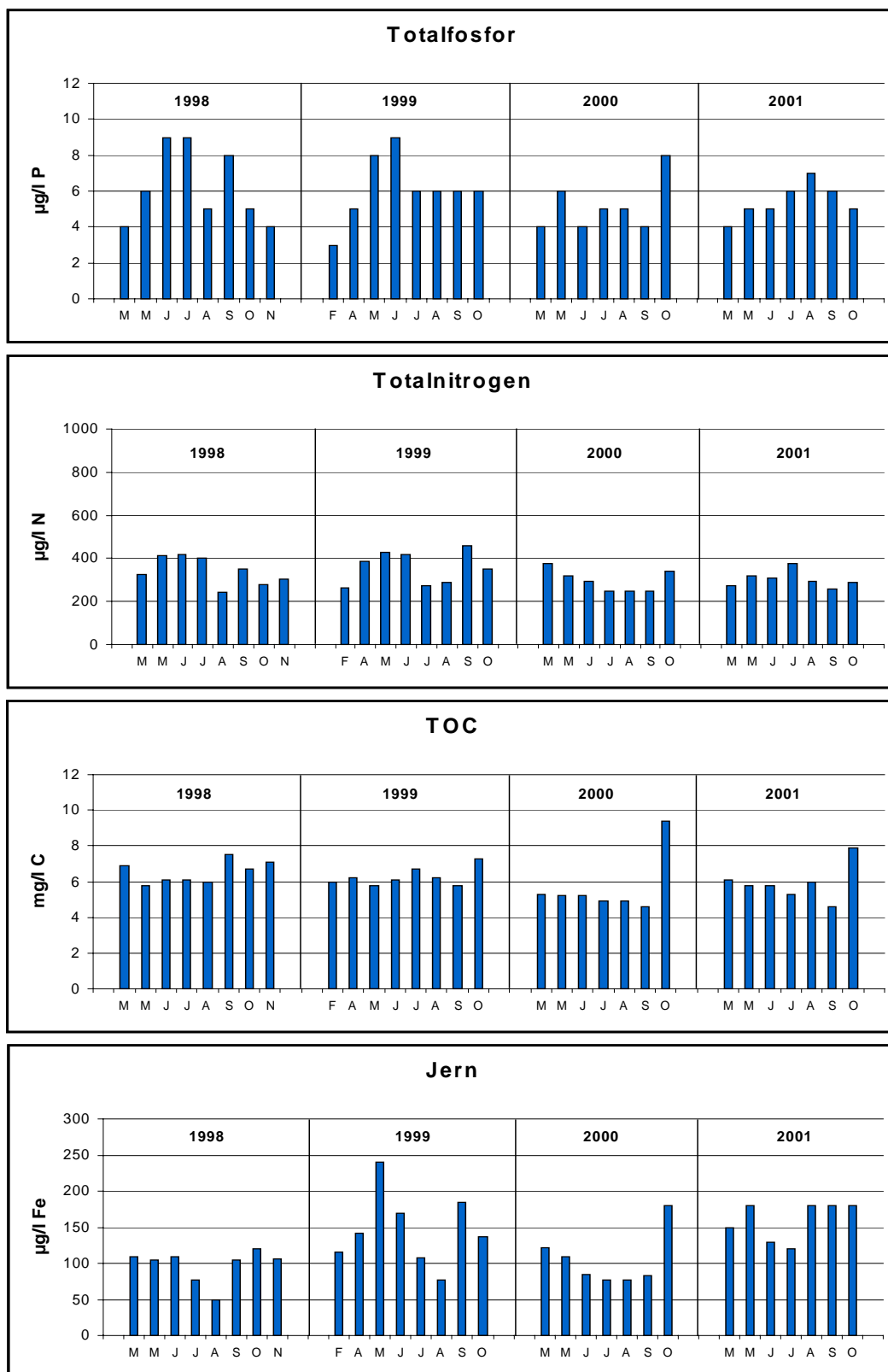


Fig. 6 Variasjoner i totalfosfor, totalnitrogen, TOC og jern i Søndre Puttjern 1998, 1999, 2000 og 2001.

Nordre Puttjern

Temperatur- og oksygenforhold (figur 7, tabell 2 i vedlegg)

Temperaturvariasjonene i Nordre Puttjern fra overflaten til bunnområdene ved største dyp viser for 28. mars 2001 en jevn økning i temperaturen fra 0.6 °C rett under isen til høyeste temperatur på 5.3 °C i 7 m dyp. Temperaturkurven viser økning hele veien ned til bunnlagene. Det var omkring 0.3 grader høyere temperatur i bunnvannet i Nordre Puttjern på ettervinteren enn i Søndre Puttjern. Antagelig skyldes det større grunnvannstilsig til bunnvannet i Nordre Puttjern.

I slutten av mai var temperaturen i overflaten steget til 11.5 °C og temperaturen sank da jevnt til et minimum på 4.5 °C i 4-5 m dyp. Samme utviklingen registrerte en i 1999 og 2000. Under dette dypet steg så temperaturen jevnt til 5.3 °C i 9 m dyp. Dette var samme møster som i 1999 og 2000 men med noe mindre utslag. Rask soloppvarming av de øverste vannlag, og høyt innhold av løste salter i de dypere vannlag (se under kjemiske forhold), førte til at det ikke skjedde en større sirkulasjon av vannmassene og at vannlagene under ca. 4 m dyp ble liggende i ro. Samtidig kommer høyst sannsynlig det meste av grunnvannstilsiget til dette tjernet ut i 4-6 m dyp gjennom sesongen. Dette påvirker temperaturforholdene i denne sonen.

Temperaturen i sommerperioden juni, juli og august viser de samme temperaturer under 5 m dyp med minimum der og noe økning mot bunnen som i mai. Temperaturen i overflaten lå på henholdsvis 17.1 °C i juni, 15.8 i juli °C og 16.1 °C i august. En termoklin bygget seg opp utover sommeren mellom 1 og 3 m dyp.

Målingene for september og oktober viser at en avkjøling av de øverste vannlag var igang og temperaturen sank noe i Nordre Puttjern, men ikke så mye i løpet av en måned, fra 16.1 °C i slutten av august til 12.3 °C i september. I oktober var overflatevannet sunket til 8.8 °C og med omtrent samme temperatur ned til ca. 3 m dyp. Dette viser blanding av vannmassene i de øverste 3 m. Under 6 m dyp økte også temperaturen mot bunnen i september og oktober, noe som viser at det ikke blir en hel gjennomblanding av hele vannsøylen på noe tidspunkt i løpet av sesongen. Dette skyldes det tyngre, saltrike bunnvannet i tjernet.

Av figur 7 ser en at oksygeninnholdet avtok raskt i vannmassene under isen ved målingene i mars 2001, og forløpet var mye likt mars 2000. Under isen ble det registrert 4.3 mg/l O₂, som i 2000, og oksygeninnholdet sank raskt til 1 mg/l O₂ i 2 m og mindre enn 1 mg/l O₂ under 3 m dyp. Det var lukt av H₂S fra ca. 2-3 m dyp. I mai 2001 viser figuren at oksygeninnholdet i overflatelaget lå på 10.1 mg/l O₂ men at innholdet sank raskt til mindre enn 1 mg O₂ fra 3 m dyp mot 2 m dyp i 2000. Lukt av H₂S ble i mai 2001 registrert under ca. 3-4 m dyp.

Målingene i sommerperioden juni, juli og august viste samme mønster som mai med oksygenfrie forhold og lukt av hydrogensulfid (H₂S) under ca. 3-4 m dyp, det vil si gjennomgående litt dypere enn i 2000 da dette dypet var 2-3 m. Oksygeninnholdet i overflaten var på 8.3 mg/l O₂ i juni, mens det i juli og august var noe redusert i forhold til målingene i mai og juni. Da var oksygeninnholdet i overflaten henholdsvis 6.8 og 7.8 mg/l O₂. Fra ca. 3 m var oksygeninnholdet mindre enn 1 mg/l O₂ hele sommeren og lukt av hydrogensulfid ble som nevnt registrert fra ca. 3-4 m hele perioden. Dette var likevel en bedring i forhold til 2000 da det var under 1 mg/l O₂ fra ca. 2 m og lukt av hydrogensulfid fra ca. 2-3 m dyp.

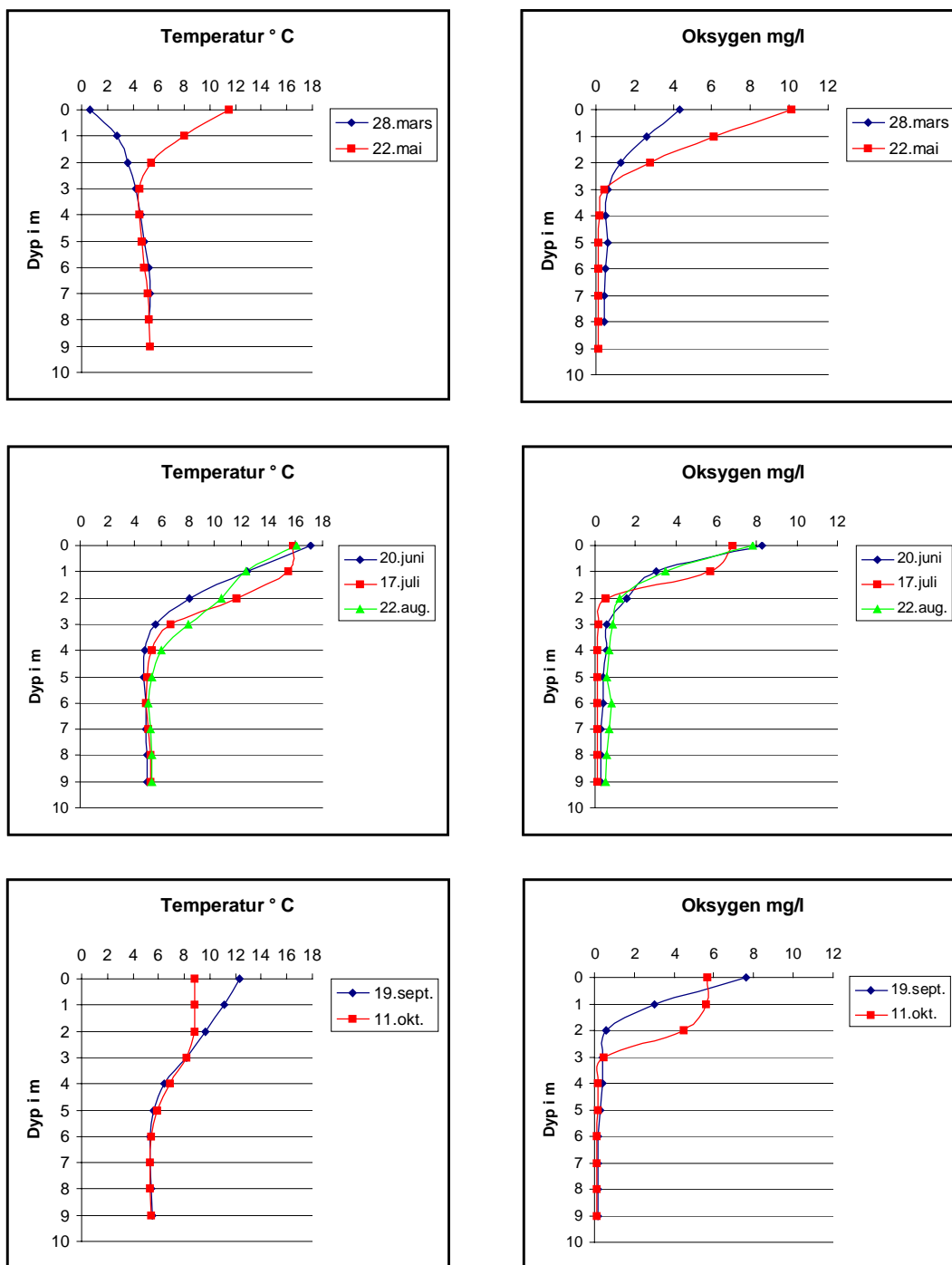


Fig. 7 Vertikale variasjoner i temperatur og oksygen i Nordre Puttjern 2001.

I september registrerte en et oksygeninnhold i de øverste vannlag på 7.6 mg/l O₂, og oksygenfritt først under ca. 3 m med svak lukt av hydrogensulfid fra samme dyp. På samme tid i 2000 var det bare 4 mg/l O₂ i overflaten men oksygenfritt og hydrogensulfid fra omtrent samme dyp som i 2001. Figur 7 viser at i oktober var oksygeninnholdet i overflatelagene 5.7 mg/l O₂, som figuren viser, med oksygenfritt vann og lukt av hydrogensulfid under ca. 3-4 m dyp. Sammenligner en oksygenforholdene i vannmassene for 2001 med tidligere år synes det som om disse er noe bedret, idet oksygenmengdene i de øvre lag er blitt litt høyere, og lukt av hydrogensulfid ble registrert litt dypere enn tidligere.

Målingene viser at Nordre Puttjern fremdeles er å betrakte som en meromiktisk innsjø med stagnert bunnvann fra ca. 3-4 m og ned til bunnen, men at forholdene synes å bedre seg noe år for år.

Kjemiske forhold (figur 8 og 9, tabell 4 i vedlegg)

Også Nordre Puttjern har et beskjedent nedbørfelt med hovedtilførsler fra Søndre Puttjern og fra nærområdene på øst og vestsiden. Områdene mellom Søndre og Nordre Puttjern er myrområder. Nordre Puttjern er også kalket flere ganger gjennom 90-årene, men ikke i 1999. Som før nevnt for Søndre Puttjern ble også Nordre Puttjern kalket i august både i 2000 og 2001. Fra vår/forsommeren 1999 ble det satt igang med å pumpe lekkasjevannet fra Romeriksporten tilbake til grunnen via et infiltrasjonsanlegg under Puttjernene, og da særlig Nordre Puttjern i tørre perioder. Dette har, som nevnt tidligere, ført til at vannstanden i Nordre Puttjern blir jevnere og en opprettholder et normalt vannspeil. I 2001 har vannstanden vært relativt høy og det har rent vann ut av tjernet det meste av den isfrie perioden.

Figur 8 viser variasjonene i analyseresultatene for en del kjemiske parametre i blandprøvene gjennom sesongen 2001, sammenlignet med tilsvarende verdier for 1998, 1999 og 2000.

pH hadde i 1999 steget kraftig sammenlignet med 1998, på grunn av de bedrete vannstandsforholdene med fullt basseng hele sesongen og høyere grunnvannstand i nedbørfeltet, som hindrer pyritt- (FeS₂) oksydasjon og tilførsler av sulfat. Forholdene i 2000 med hensyn til pH viste omtrent verdier som i 1999. pH lå i 1999 mellom 5.56 og 6.49, mens den i 2000 varierte mellom 5.69 og 6.74. Etter kalkingen i august steg pH sterkt og verdiene for august og september var markert høyere, som i Søndre Puttjern. I oktober sank pH noe som en følge av mye nedbør i området. I 2001 viser figuren at pH i de øvre vannlag (0-2 m blandprøver) hadde steget ytterligere, også sammenlignet med 2000, og også da med en forsterking etter kalking i august. pH varierte i 2001 mellom 5.99 og 6.95.

Også konduktiviteten viste en kraftig endring i verdiene og mindre ionerikt vann i 1999 sammenlignet med 1998, for blandprøvene. Som figur 8 viser lå verdiene for konduktivitet det meste av sesongen 2000 omtrent på det samme nivå som gjennom 1999, men også her med en økning i august og september etter kalkingen. Variasjonene gjennom 2000 var fra 3.71 til 5.70 med et snitt på 4.53 mS/m. I 1999 varierte det mellom 3.46 og 5.43 med et snitt på 4.08 mS/m. I 1998 varierte den mellom 8.9 og 25.7 med et snitt på 20.3 mS/m. I 2001 var det en ytterligere reduksjon i konduktivitet, men med en topp etter kalking i august. Konduktiviteten varierte i 2001 mellom 2.41 og 4.81 mS/m.

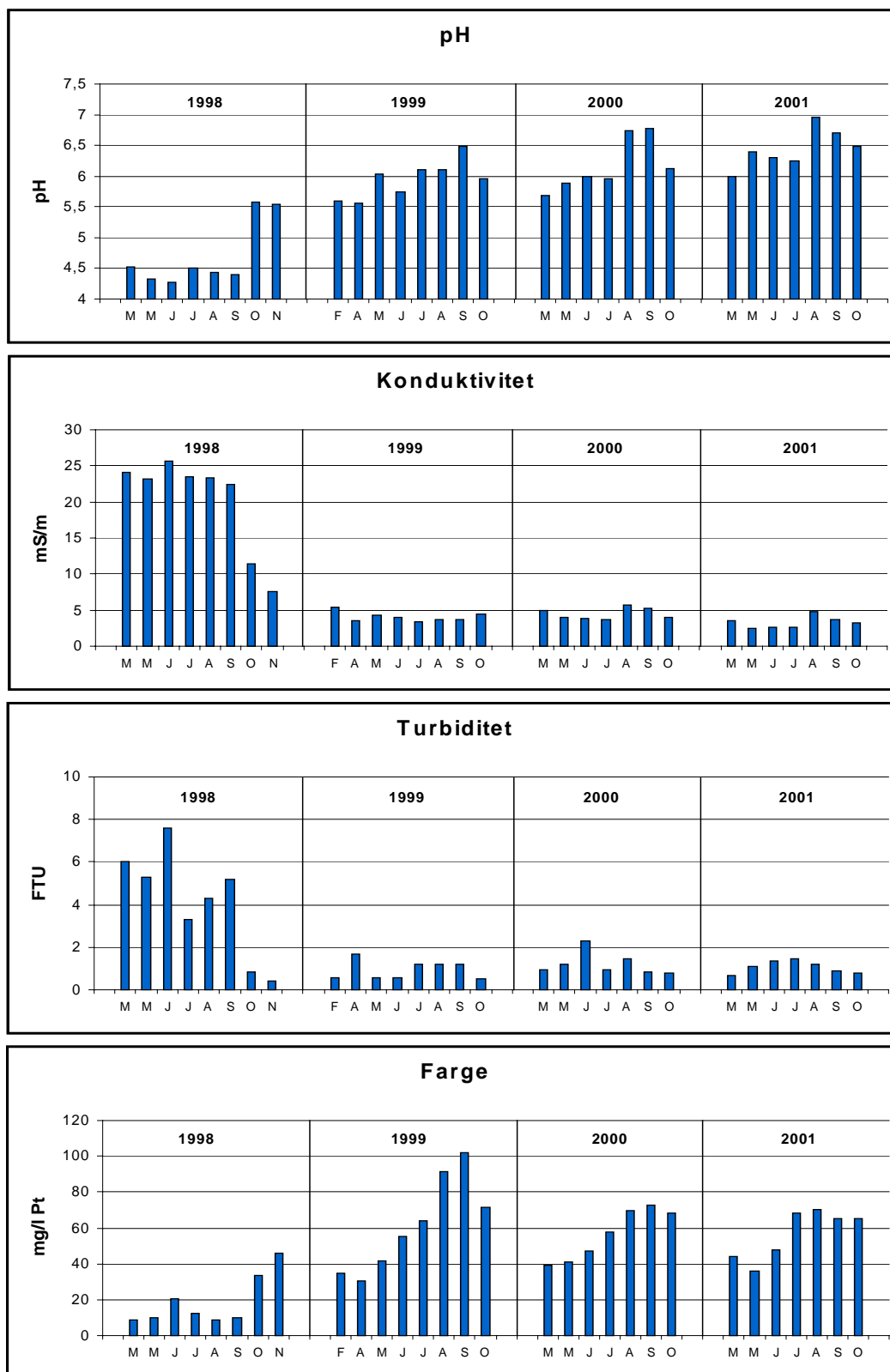


Fig. 8 Variasjoner i pH, konduktivitet, turbiditet og farge i Nordre Puttjern 1998, 1999, 2000 og 2001.

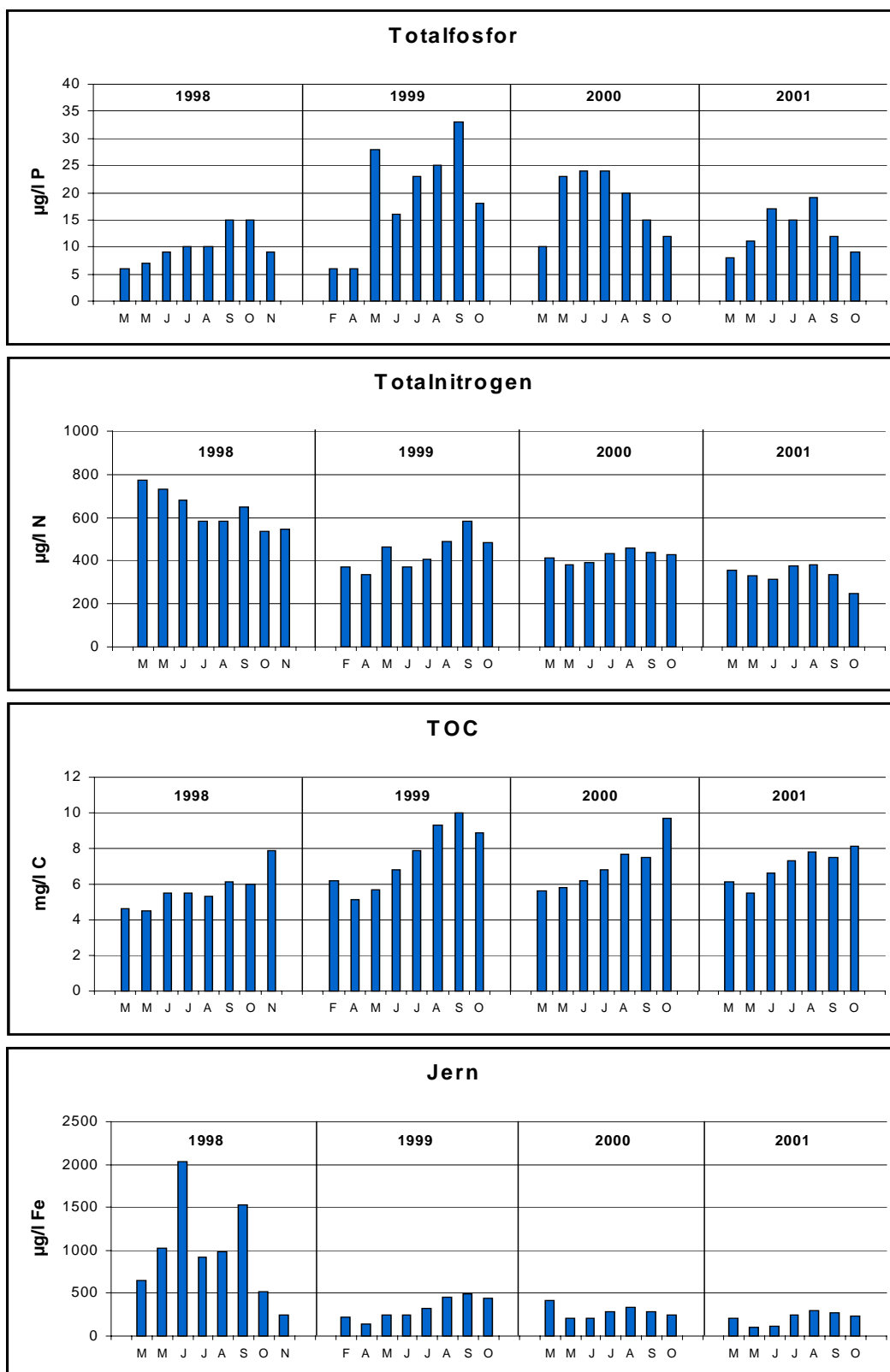


Fig. 9 Variasjoner i totalfosfor, totalnitrogen, TOC og jern i Nordre Puttjern 1998, 1999, 2000 og 2001.

Som for konduktiviteten ble det også registrert en kraftig reduksjon av turbiditeten i 1999 sammenlignet med 1998, som et resultat av at vannstanden i tjernet da steg til det normale. I perioder i 1998 da vannstanden lå 2-3 m under det normale var særlig strandområdene eksponert for nedbøren, noe som førte til større utvasking av partikler til tjernet. I 2000 lå variasjonene i turbiditet stort sett innenfor samme intervallet som i 1999. Verdiene i 1999 lå mellom 0.52 og 1.70 med et snitt på 0.94 FTU. I 2000 varierte verdiene mellom 0.81 og 2.28 med et snitt på 1.20 FTU og i 2001 varierte verdiene mellom 0.68 og 1.44 FNU (tidligere FTU) med et snitt på 1.0 FNU. De små variasjonene en registrerte i perioden 1999-2001 skyldtes først og fremst variasjoner i nedbør og utvasking av partikler til tjernet, og sannsynligvis bare i liten grad planktonalger, selv om algemengden økte betydelig i 2000 og 2001 sammenlignet med 1999 (se kapittel 5.1.2).

Verdiene for farge viste også store endringer fra 1998 til 1999, med unntak for slutten av sesongen 1998. Det meste av sesongen 1998 lå fargetallene mellom 8.45 og 20.5 mg/l Pt. Dette viser at det var liten tilrenning av humøst vann til Nordre Puttjern da, hovedsakelig fordi det meste av myrområdene var tørrlagte. De lavere fargetallene i Nordre Puttjern store deler av sesongen 1998 skyldes også avfarging av humus ved de ekstremt lave pH-verdier og foto-oksydasjon i vannmassene pga. liten vanngjennomstrømning. I 1999, med normal vannstand hele sesongen, hadde verdiene for farge økt til mellom 30.7 og hele 102 med et snitt på 61.5 mg/l Pt, det vil si høye verdier som viste stor humuspåvirkning. Som figur 8 viser var fargetallet relativt høyt også gjennom store deler av sesongen 2000. I perioder ble det, som i 1999, tilført humusrikt vann til Nordre Puttjern i 2000, noe som ga redusert sikt i vannet. I 2000 varierte verdiene for fargetall mellom 39.2 og 72.9 med et snitt på 56.7 mg/l Pt, det vil si omtrent som i 1999 men noe jevnere gjennom sesongen. I 2001 varierte fargeverdiene i store trekk som i 2000 og de lå gjennom sesongen omtrent på samme nivå. Variasjonene var fra 36.0 til 70.4 med et snitt på 56.7 mg/l Pt.

På tross av at det ble registrert en kraftig økning i fargeverdiene i Nordre Puttjern i 1999 og 2000 sammenlignet med 1998 (figur 9), endret ikke innholdet av totalt organisk materiale (TOC) seg så mye, selv om det økte og var markert høyere begge årene. I 1998 varierte innholdet av TOC mellom 4.5 og 7.9 med et snitt for sesongen på 5.7 mg/l C, mens de tilsvarende verdiene for 1999 var 5.1 og 10.0 med et snitt på 7.5 mg/l C og for 2000 mellom 5.6 og 9.7 med et snitt på 7.0 mg/l C. I 2001 var verdiene for TOC omtrent som gjennom sesongen 2000 og varierte mellom 5.5 og 8.1 med et snitt på 7 mg/l C. Dette viser et betydelig innhold av organisk materiale i vannmassene i Nordre Puttjern gjennom hele undersøkelsesperioden 1998-2001 (se SFTs klassifisering i Bratli og medarb. 1997).

Innholdet av jern ble også, som figuren viser, sterkt redusert i de øverste vannlag i sesongen 1999 sammenlignet med 1998. I 1998 var innholdet meget stort men varierte mye selv i blandprøvene, mellom 240 og 2030 µg/l Fe, minst mot slutten av det året med tilnærmet normal vannstand i tjernet. I 1999 lå alle verdiene under 500 µg/l Fe, store deler av sesongen også under 350 µg/l Fe. For 2000 viste verdiene en fortsatt nedgang med et maksimum på 420 µg/l Fe og resten av året godt under 350 µg/l Fe. For 2001 viser resultatene for blandprøvene en ytterligere nedgang med verdier mellom 100 og 300 µg/l Fe. Snittverdien for 1999 var på 319 for 2000 på 285 µg/l Fe og for 2001 på 210 µg/l Fe.

Innholdet av fosfor økte betydelig i 1999 sammenlignet med 1998 i den isfrie perioden. Mens høyeste verdier i 1998 lå på 15 µg/l P og gjennomsnittet var på 10.7 µg/l P, ble det i den isfrie perioden i 1999 registrert mellom 16 og 33 µg/l P med et snitt på 23.8 µg/l P. Årsaken kan være at en del fosfor ble bundet under de oksyderende forholdene i myrområdene rundt tjernet når vannstanden var lav i 1997-1998, og at disse løstes ut igjen og tilførtes vannmassene når vannstanden steg og det igjen ble reduserende forhold. I 2000 var også innholdet av fosfor høyt, mellom 12 og 24 µg/l P med et snitt på 19.6 µg/l P. I 2001 viser resultatene at fosforinnholdet var noe redusert i forhold til 2000 og særlig 1999. Fosfor varierte i den isfrie perioden i 2001 mellom 9 og 19 µg/l P med et snitt på 13.8 µg/l P. Dette viser en nedgang selv om fosforinnholdet fremdeles var langt over nivået i Søndre Puttjern.

I 1999 kunne en ikke se at økningen i fosfor, som ofte er begrensende vekststoff for planteplankton, førte til økt algebiomasse i Nordre Puttjern, men resultatene av planteplankton-analysene for 2000 viste en kraftig økning av algevolumet gjennom vekstsesongen, noe som også var tilfelle gjennom vekstsesongen 2001 (se under kapittel 5.1.2).

Innholdet av nitrogen viste en betydelig reduksjon gjennom sesongen 1999 sammenlignet med 1998. I 2000 var innholdet av nitrogen jevnere gjennom sesongen men lå innenfor det samme variasjonsintervallet som i 1999. Gjennom sesongen 2001 var innholdet redusert markert sammenlignet med tidligere år, også 2000. I 1998 varierte totalnitrogen mellom 535 og 775 med et snitt på 634 µg/l N, i 1999 mellom 335 og 580 med et snitt på 438 µg/l N, i 2000 mellom 380 og 460 med et snitt på 420 µg/l N og i 2001 mellom 245 og 380 med et snitt på 333 µg/l N. Det har med andre ord vært en jevn reduksjon i innholdet av nitrogen i perioden 1998-2001.

Vertikale variasjoner for en del parametre i Nordre Puttjern

I 1998 ble det i tillegg til blandprøvene samlet inn prøver fra ulike dyp for å se på de vertikale variasjonene. Ekstraprøvene ble tatt i 2, 4 og 7 (6) m dyp. I 1999 ble det på samme måte tatt ut og analysert prøver fra de samme dyp med hensyn på de samme parametre, og dette ble fulgt opp i sesongen 2000 og 2001. Bakgrunnen for å analysere prøver fra disse dypene i Nordre Puttjern var å følge med i eventuelle bedringer av vannkvaliteten også i dypvannet, slik en har gjort for blandprøvene fra de øvre vannlagene i perioden 1998-2001. Analysene av prøvene har omfattet pH, konduktivitet, jern og sulfat. På grunn av den induserte meromiksis i Nordre Puttjern fikk en to adskilte vannvolumer gjennom sesongen, ett over ca. 3-4 m med relativt normal blanding av vannmassene og ett under dette dyp med stagnerende vannmasser. Dette har ført til store forskjeller i verdiene for en del parametre. I figurene 10-12 er sammenstilt variasjonene for tre av disse parametre i de tre dypene i perioden 1998-2001.

pH

Som figur 10 viser var det i 2 m dyp en markert økning av pH fra 1998 til 1999. Denne økningen fortsatte i 2000 og 2001. Disse prøvene er tatt i et dyp der det er omrøring av vannmassene. Økningen var ikke så markert som i de andre dypene, men tydelig nok. I 1998 varierte pH i 2 m dyp mellom 4.52 og 5.62 med et snitt på 5.05. Tilsvarende verdier for 2 m dyp i 1999 var 5.31 og 5.90 med snitt 5.61. I 2 m dyp for 2000 viste analyseresultatene omtrent samme verdier eller litt høyere frem til kalkingstidspunktet, sammenlignet med 1999, og etter kalkingen en markert økning på samme måte som resultatene fra blandprøvene viste (se tidligere). Verdiene lå mellom 5.53 og 6.70 med et snitt på 6.02. I 2001 lå verdiene mellom 5.77 og 6.61 (august) med et snitt på 6.15. Verdiene var noe jevnere gjennom sesongen i 2001 enn tidligere.

Det var i 4 m dyp en registrerte de største endringene fra 1998 til 1999. Med unntak av siste måling i november 1998 på 5.14, var pH-verdiene i 1998 svært lave, laveste verdi var den gang 3.35. Snitt av målingene i 4 m dyp i 1998 var så lav som 3.93. Tilsvarende verdier for 1999 i 4 m dyp var 5.21 og 6.31 med snitt 5.69. Dette viser en kraftig økning i pH på dette dypet. I 2000 var pH-verdiene økt ytterligere, fra 5.65 til 6.56 med snitt på 6.06, og også i dette dyp var det maksimum i august og september. I 2001 varierte pH i 4 m dyp mellom 5.86 og 6.61 med et snitt på 6.21. Det vil si en ytterligere bedring for sesongen.

I dypvannet, 7 (6) m dyp, var det også en betydelig bedring å se. I 1998 var laveste registrerte verdi i dette dyp 3.30 og høyeste 4.31 (november) med snitt 3.58. Tilsvarende verdier for 7 m dyp i 1999 var 3.88 og 5.33 (februar) med snitt 4.63. Resultatene fra 2000 viser en ytterligere bedring i pH, også her spesielt utover høsten. Verdiene lå mellom 4.76 (mai) og 6.42 (oktober) med et snitt på 5.26. Det var

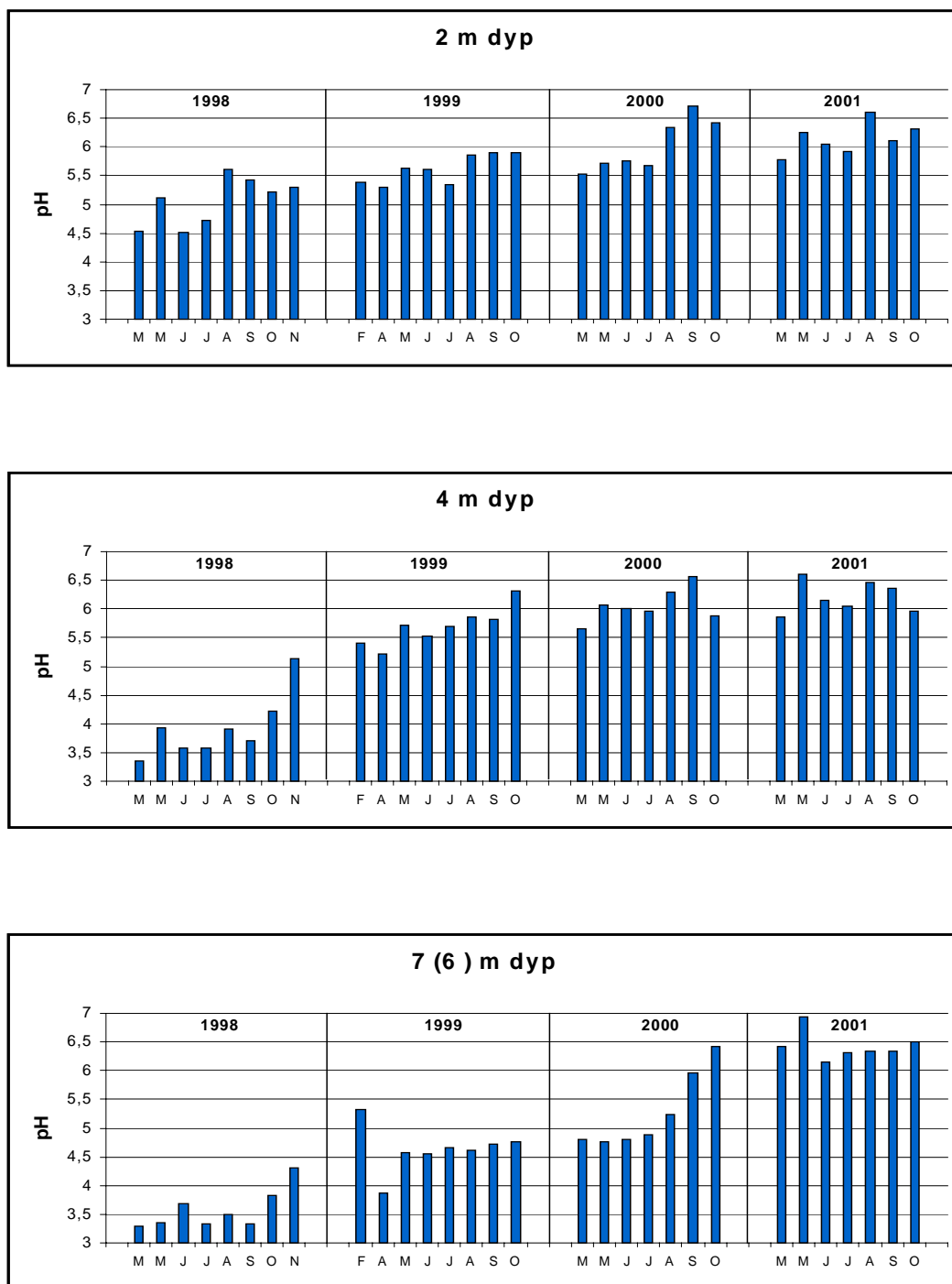


Fig. 10 Vertikale variasjoner i pH i Nordre Puttjern 1998, 1999, 2000 og 2001.

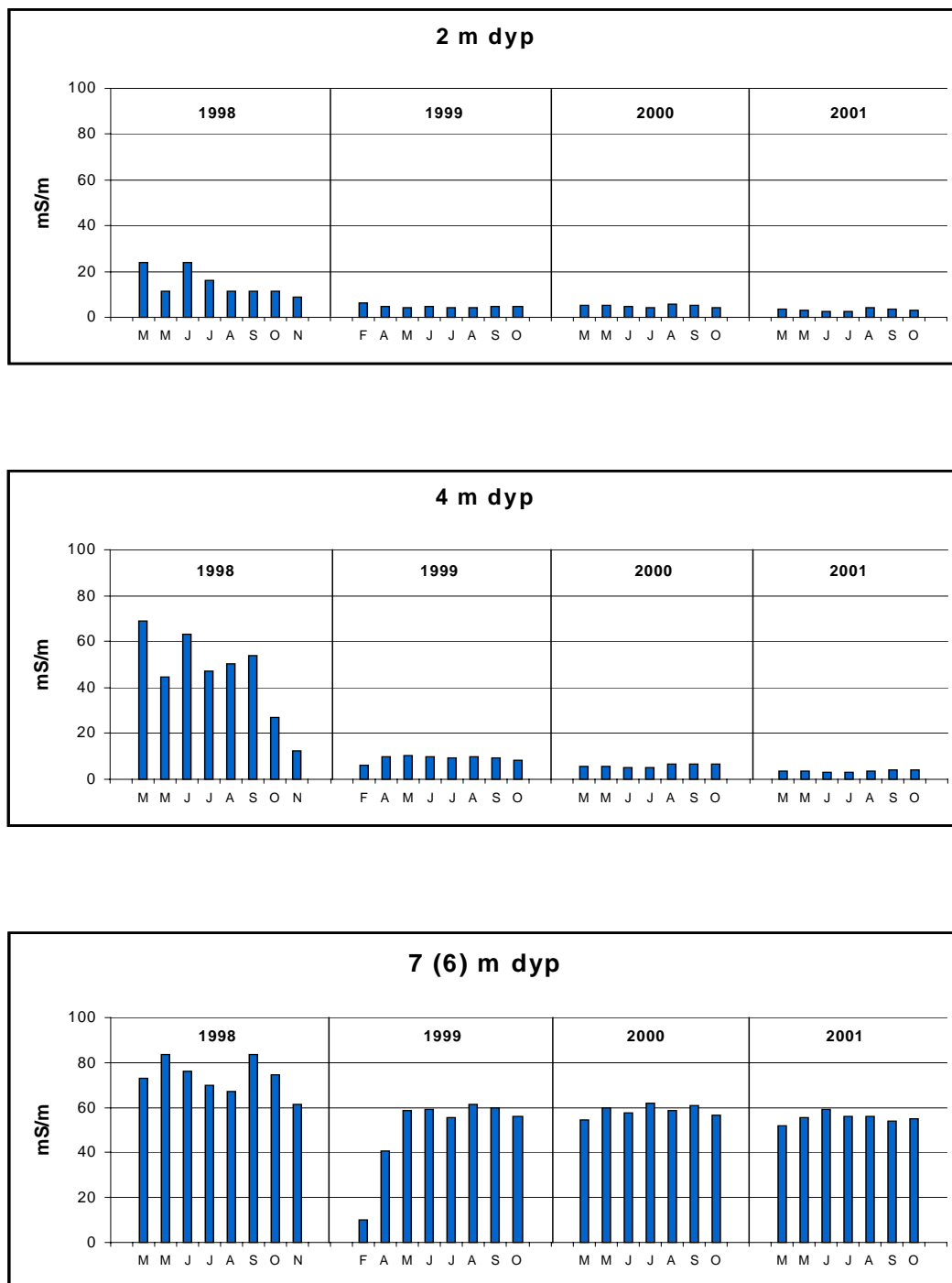


Fig. 11 Vertikale variasjoner i konduktivitet i Nordre Puttjern 1998, 1999, 2000 og 2001.

en spesielt kraftig økning i pH etter kalkingen i august, fordi mye av kalken sank ned til de dypere vannlag. At mye av restene etter kalkingen i august 2000 lå igjen i dypvannet nær bunnen viser resultatene for 2001 for 7 m dyp. De viser høye verdier for pH gjennom hele sesongen også før ny kalking skjedde i august 2001. Verdiene for 7 m dyp i 2001 varierte mellom 6.15 og 6.94 med et snitt på 6.43.

Konduktivitet

Konduktiviteten, som er et mål på innholdet av løste salter i vannmassene samlet, viste kraftig endring i verdiene fra 1998 til 1999. Størst utslag ble da registrert i 4 m dyp som figur 11 viser. I 2 m dyp var ikke endingene så store, selv om de også her var markerte. I 1998 var laveste registrerte verdi for konduktiviteten i 2 m dyp 11.3 og høyeste 24.1 med et snitt på 14.8 mS/m. Tilsvarende for 1999 var 3.97 og 6.00 med snitt 4.60 mS/m, det vil si en klar senkning av konduktiviteten. Dette viser mindre innhold av løste salter. I 2000 holdt verdiene for konduktivitet seg på det samme nivå som i 1999 for 2 m dyp. De varierte da mellom 4.08 og 5.94 med et snitt på 4.88 mS/m. Resultatene for 2001 viser en ytterligere reduksjon av konduktiviteten. Den varierte da i 2 m dyp mellom 2.72 og 4.01 (august etter kalking) med et snitt på 3.26 mS/m.

I 4 m dyp var konduktiviteten sunket til et betydelig lavere og tilnærmet "normalt" nivå mot slutten av året 1998 etter mye nedbør og økt vannstand. For 1998 varierte verdiene i dette dyp mellom 12.6 (november) og 68.8 (mars) med et snitt for sesongen på 45.9 mS/m. De tilsvarende verdiene for 1999 var 6.41 og 10.2 med snitt på 9.10 mS/m, som viser en meget kraftig reduksjon av ioneinnholdet i dette dypet. I 2000 viste analyseresultatene at det hadde skjedd en videre reduksjon i ioneinnholdet. Da varierte konduktiviteten mellom 5.37 og 6.81 med et snitt på 6.02 mS/m. Resultatene for 2001 viser en ytterligere reduksjon i konduktiviteten i 4 m dyp. Verdiene varierte da mellom 3.16 og 4.37 med et snitt på 3.71 mS/m.

Også for de dypeste delene av tjernet var det en markert reduksjon i innholdet av løste salter i 1999 sammenlignet med året før. I 1998 varierte konduktiviteten mellom 61.4 og 83.7 med et snitt for sesongen på 73.7 mS/m. I februar 1999 ble det målt, relativt sett, svært lav verdi for konduktivitet med 10.2 mS/m. Resten av sesongen varierte verdiene mellom 41.0 og 61.5 mS/m. Snittet for hele sesongen 1999 var 50.3 mS/m. Analysene for 2000 viste at konduktiviteten i dypvannet gjennomgående var svært like de resultatene en hadde for 1999, men jevnere gjennom sesongen. Variasjonene lå mellom 54.5 og 61.9 med et snitt på 58.5 mS/m. Også resultatene for 2001 i dypvannet viste relativt jevne verdier gjennom sesongen varierende mellom 51.6 og 59.1 med et snitt på 55.3, noe som viser en svak reduksjon i forhold til 2000.

Sulfat (SO₄)

En av årsakene til det ekstremt sure vannet i 1998, spesielt i hypolimnion i Nordre Puttjern, var økt innhold av hydrogen- og sulfationer ved oksydasjon av sulfider til sulfat. Grunnen var at grunnvannsspeilet sank kraftig i 1998 slik at store deler av vannet i området, særlig i myrområdene rundt tjernet, som tidligere hadde anoksiske forhold, ble eksponert mot luft og en oksydasjon fant sted. Som nevnt tidligere var vannstanden i tjernet og myrområdene rundt tilnærmet normal igjen gjennom hele sesongen 1999. I figur 12 er fremstilt variasjonene i sulfat i de tre prøvetakingsdypene for perioden 1998-2001. Figuren viser en klar endring også av innholdet av sulfat i de tre prøvedypene fra 1998 til 1999. Særlig i 4 m dyp var endringene store.

På 2 m dyp ble det registrert store variasjoner i 1998, mellom 2.8 og 99.0 med et snitt på 42.8 mg/l SO₄. I 1999 var variasjonene mindre med verdier mellom 6.1 og 14.8 og et snitt på 9.7 mg/l SO₄. I 2000 var nivået for sulfatinnholdet i 2 m dyp omtrent som i 1999 med verdier mellom 6.5 og 11.8 og et snitt på 8.7 mg/l SO₄. I 2001 var sulfatinnholdet i 2 m dyp redusert ytterligere og varierte mellom 5.0 og 6.4 med et snitt på 5.7 mg/l SO₄.

I 4 m dyp var det en reduksjon i sulfatinnholdet mot slutten av 1998 når vannstanden steg til nesten det normale, men før dette var det høye verdier. Laveste målte verdi i 1998 var 44.5 (november) og høyeste 298 (mars) med et snitt på 207 mg/l SO₄. Tilsvarende verdier for 1999 viser en radikal endring av sulfatinnholdet i dette dypet med variasjoner mellom 17.2 og 32.0 og et snitt på 25.3 mg/l SO₄. I 2000 var innholdet av sulfat ytterligere redusert i dette dypet til mellom 9.7 og 13.2 og med et snitt på 11.0 mg/l SO₄, og i 2001 til mellom 2.9 og 6.3 med et snitt på 4.4 mg/l SO₄.

I de dypeste områdene av tjernet var det i 1998 et sulfatinnhold som varierte mellom 286 og 380 med et gjennomsnitt på 334 mg/l SO₄ som er svært høye verdier. Med unntak av målingen fra februar da det bare ble registrert et sulfatinnhold på 32 mg/l SO₄, lå sulfatinnholdet i 1999 mellom 176 og 300 med et snitt for hele sesongen på 237 mg/l SO₄. Dette viste fremdeles svært høye verdier i dette dypet, selv om en viss reduksjon av sulfatinnholdet hadde skjedd også i vannmassene i dypvannet. Analyseresultatene for 2000 viste ingen markerte endringer i sulfatinnholdet i dypvannslagene i Nordre Puttjern sammenlignet med 1999. Verdiene varierte da mellom 240 og 310, og hadde et snitt på 275 mg/l SO₄. Gjennom sesongen 2001 viser figur 12 at sulfatinnholdet i dypvannet ble en del redusert. Med unntak av registreringen på 34 mg/l SO₄ i mars mens isen lå, varierte verdiene i 7 m dyp mellom 182 og 244 mg/l SO₄ med et snitt for disse verdiene på 208 mg/l SO₄.

Jern (Fe)

Også for jerninnholdet viste resultatene markerte endringer fra 1998 til 1999, særlig i 4 m dyp. Bedringen ble synlig for denne parameteren alt mot slutten av sesongen 1998 (oktober) da verdiene i 4 m dyp sank fra et nivå tidligere på året på opp til 10000 µg/l Fe, med kraftig senket vannstand og tørrlegging av myrområdene, ned til 63 µg/l Fe med tilnærmet normal vannstand i tjernet og vasstrukken myr med reduserende forhold. Gjennom hele 1999 da vannstanden var normal og myrene gjennomtrukket av vann, varierte jerninnholdet i 4 m dyp mellom 300 og 1230 µg/l Fe. Verdiene for 2000 var jevnere gjennom sesongen enn i 1999 og varierte i 4 m dyp mellom 820 og 1700 µg/l Fe. I 2001 var jerninnholdet på 4 m dyp sunket i forhold til 2000 og varierte mellom 440 og 970 µg/l Fe. Jerninnholdet i dypvannet (7 m) var i 2000 fremdeles svært høyt med registrerte verdier på opp til 29200 µg/l Fe mens det i 2001 ble registrert et maksimum på 13700 µg/l Fe som viser en markert reduksjon.

Sammenligning av variasjonene for enkelte parametre i dypvannet i Søndre- og Nordre Puttjern

Gjennom undersøkelsene av Puttjernene både i 1998, 1999, 2000 og 2001 ble det samlet inn og analysert prøver fra dypvannssonen i Søndre Puttjern (8 m dyp) såvel som i Nordre Puttjern (6 og 7 m dyp i 1998, 7 m dyp i 1999, 2000 og 2001).

Det er sannsynlig at forholdene i begge disse tjernene har vært svært like før lekkasjene til Romeriksporten begynte i 1997. Begge tjernene er tilnærmet like med hensyn til nedbørfelt, overflateareal, vannvolum og dyp (Brettum og Løvik 1999). Overløpsvann fra Søndre Puttjern renner ned i Nordre Puttjern.

Da eventuelle skader på bassenget i Søndre Puttjern synes å ha vært ubetydelige i forbindelse med lekkasjene til Romeriksporten, og vi forutsetter at de to tjernene i utgangspunktet har vært relativt like før lekkasjene, kan en bruke resultatene fra dypvannet i Søndre Puttjern som en referanse. Dermed kan en sammenligne resultatene der med analyseresultatene i Nordre Puttjerns dypvann for å se hvor stor forskjellen mellom Nordre Puttjern og Søndre Puttjern er, og hvorledes forholdene bedrer seg i Nordre Puttjern.

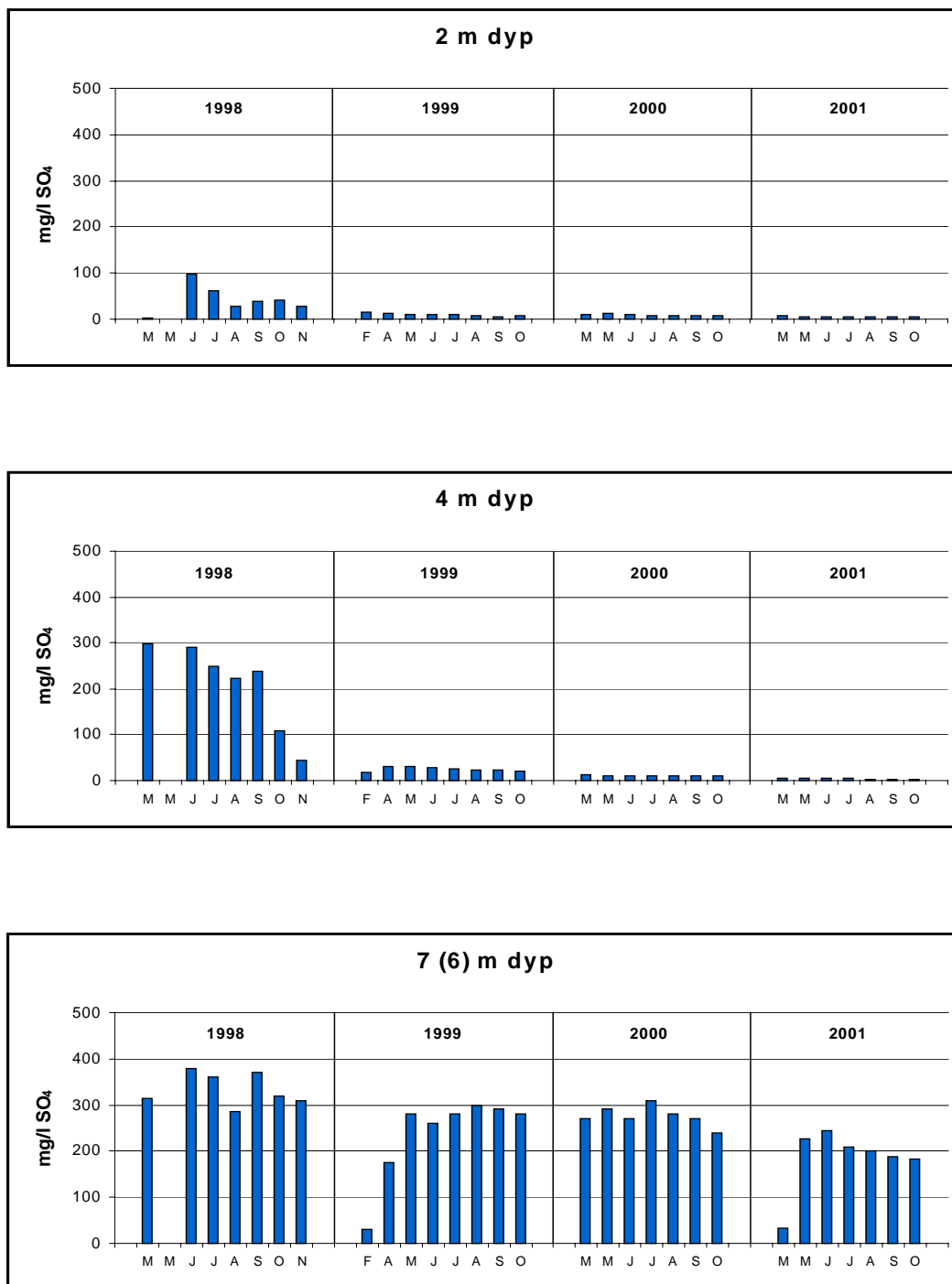


Fig. 12 Vertikale variasjoner i sulfat i Nordre Puttjern 1998, 1999, 2000 og 2001.

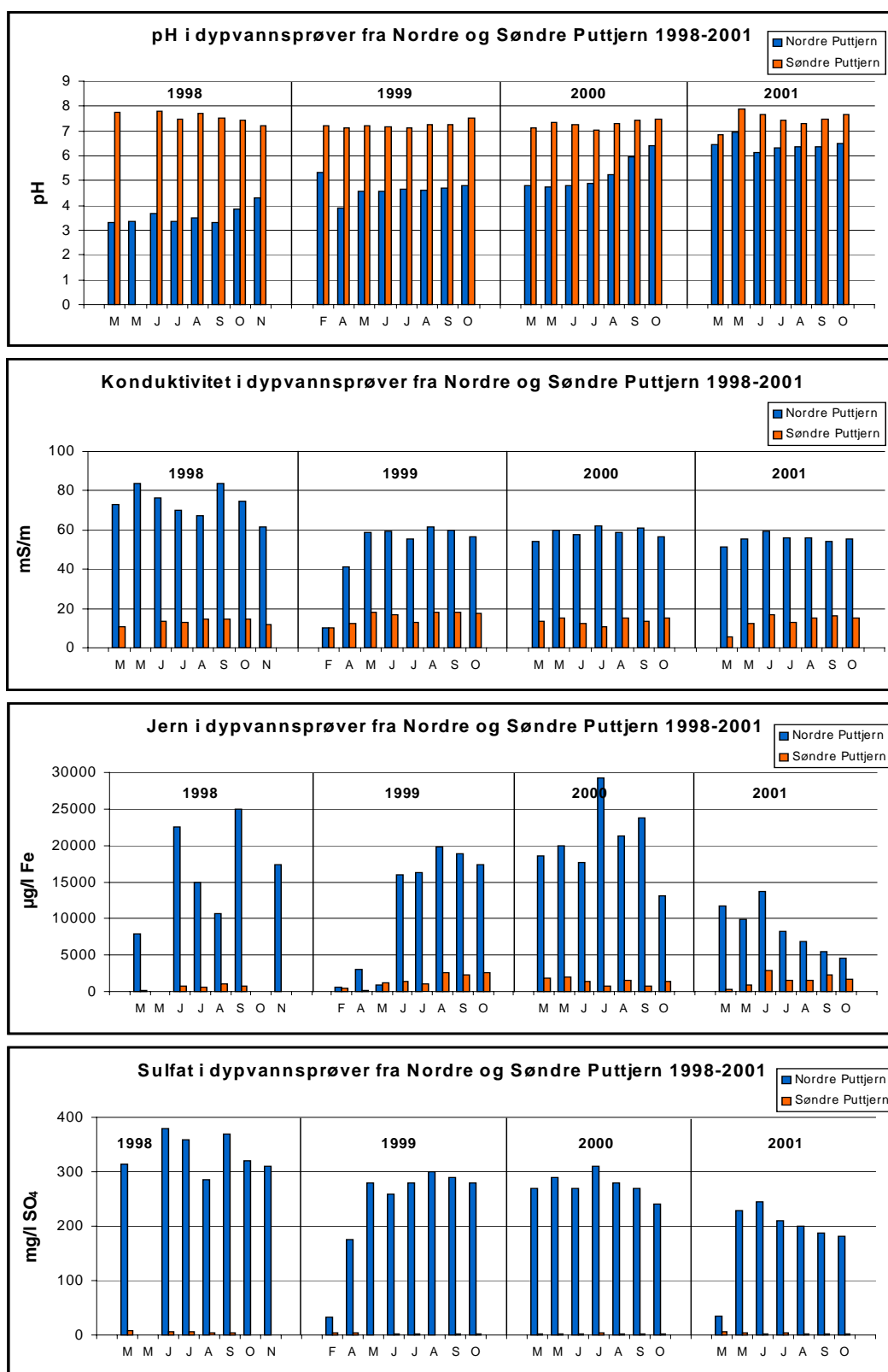


Fig. 13 Variasjoner i pH, konduktivitet, jern og sulfat i dypvannet i Nordre og Søndre Puttjern 1998, 1999, 2000 og 2001.

I figur 13 er sammenstilt de analyseresultater en har fra de to tjernenes dypvannsområder i perioden 1998-2001. Målte parametre var pH, konduktivitet, jern og sulfat.

Som figuren viser var det, og er fremdeles, store forskjeller på nivået for disse parametrene i de to tjernenes dypvannsbassenger, selv om analyseresultatene (figur 13) viser forbedringer for noen av parametrene. Særlig resultatene for 2001 viser betydlige forbedringer. Innholdet av sulfat var i Søndre Puttjern så lavt i dypvannet i hele perioden, sammenlignet med det nivået en har hatt i Nordre Puttjern, at en vanskelig får det frem på figuren (se vedlegg tabell 3), men en ser av figuren at nivået for sulfat i Nordre Puttjern er sunket kraftig. Særlig viser resultatene for 2001 sammenlignet med tidligere år dette. Den økningen en registrerte for pH i dypvannet fra august 2000 i Nordre Puttjern, har holdt seg og forsterket seg gjennom 2001, slik at verdien for pH i Søndre og Nordre Puttjerns dypvann nærmer seg det samme nivå. Også innholdet av jern i dypvannsprøvene fra Nordre Puttjern viser en kraftig reduksjon sammenlignet med tidligere år. Det nærmer seg nivået for Søndre Puttjern selv om det ennå er en markert forskjell.

5.1.2 Planteplankton og klorofyll

De analyserte prøvene for planteplankton og klorofyll var blandprøver fra den eufotisk sone i de undersøkte innsjøene. I 2001 ble det tatt blandprøver fra 0-6 m dyp i Søndre Puttjern og fra 0-2 m dyp i Nordre Puttjern.

De kvantitative planteplanktonprøvene ble analysert etter "Sedimenteringsmetoden" utarbeidet av Utermöhl (1958), med etterfølgende volumberegninger beskrevet av Rott (1981). En samlet metodebeskrivelse er gitt av Brettum (1984) og Olrik og medarb. (1998). Metoden omfatter analyser ved hjelp av et omvendt mikroskop og gir det kvantitative innholdet av hver enkelt art eller takson planteplankton som volum eller biomasse, den prosentvise andel av hver algegruppe som f. eks. blågrønnalger (cyanobakterier), kiselalger, grønnalger osv. og det samlede planteplanktoninnhold. Figurene som viser variasjonene i planteplanktonvolum og -sammensetning i Puttjernene er tegnet ut i samme målestokk for alle årene og begge tjernene, for å gjøre det enklere å sammenligne innsjøene innbyrdes.

Måling av klorofyllinnholdet i vannet er en enklere metode for å gi et mål på planteplanktonets samlede biomasse. Denne metoden gir ingen opplysninger om planteplanktonsamfunnets sammensetning av grupper og arter. Da klorofyllinnholdet i planteplanktonet varierer både med artsammensetningen, vekstfase og ytre forhold, gir det et relativt grovt mål på planteplanktonbiomassen til enhver tid. Med et sammensatt planteplanktonsamfunn vil imidlertid klorofyllmengden variere i store trekk på samme måte som totalvolum av planteplankton, beregnet ut fra de kvantitative mikroskopanalysene. Analysemetodikken for klorofyllanalyser følger Norsk Standard (NS 4767).

Søndre Puttjern

Analyseresultatene for planteplanktonanalysene er gitt i figur 14 og i tabell 5 i vedlegget. I figur 14 er sammenstilt variasjonene i totalvolum og sammensetning av planteplankton både for 1998, 1999, 2000 og 2001 for lettere å kunne sammenligne resultatene.

Som det fremgår av figuren var planteplanktonbiomassen, eller totalvolum planteplankton, omtrent den samme i Søndre Puttjern i 2001 som i 2000, men litt mindre enn i 1998 og 1999. Forskjellene var imidlertid små disse fire årene og godt innenfor normale variasjoner fra år til år. Den høyeste verdien

for totalvolum i 1998 ble registrert i juli med $735 \text{ mm}^3/\text{m}^3$. Maksimum i 1999 ble registrert i august med $664 \text{ mm}^3/\text{m}^3$. I 2000 ble maksimum registrert i juli med $501 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ og i 2001 i august med $517 \text{ mm}^3/\text{m}^3$. Dette er ikke spesielt høye verdier og normalt for mange skogstjern av denne typen, tjern med vannmasser i overgangen mellom oligotrofe og oligomesotrofe forhold. Det vil si forholdsvis næringsfattige vannmasser. Gjennomsnittsverdi for vekstsesongen var i 1998 på 427, i 1999 på 399 og i 2000 på 323 og i 2001 på 277 mm^3/m^3 . Verdiene viser en synkende tendens, men forskjellene er ikke større enn at de ligger innenfor de variasjonene fra år til år som en kan forvente med så spredte prøvetakinger som én prøve i måneden.

Av figuren og tabellen ser en at det var et variert planteplankton i Søndre Puttjern i 2001 som de tidligere årene. I 1998 ble det registrert 63 arter eller taksa. Flest arter eller taksa ble registrert innen gruppen Chrysophyceae (gullalger), hele 25 det året. I prøvene fra 1999 ble 61 arter eller taksa registrert, også da flest i gruppen Chrysophyceae med 26. I 1999 var det til tider noe mer dominans av enkelte grupper enn i 1998. Særlig var det tilfelle for gruppen Dinophyceae (fureflagellater) på ettersommeren. I 2000 ble det registrert 70 arter eller taksa av planteplankton i Søndre Puttjern. Som i 1999 var det et maksimum for gruppen Dinophyceae på ettersommeren. For gruppen Chrysophyceae ble det i 2000 registrert 30 arter eller taksa. I 2001 ble det totalt registrert 63 arter eller taksa av planteplankton, derav 24 innen gruppen Chrysophyceae som den mest artsrike gruppen.

Gruppen Dinophyceae (fureflagellater) var, som nevnt, den mest fremtredende gruppen i 1998 med hensyn til prosentvis andel av det samlede planteplanktonvolum, sesongen sett under ett. Særlig i august det året var gruppen dominerende i planktonet med hele 56 % av det samlede algevolum. Denne gruppen var også dominerende i 1999 i august, da den utgjorde mer enn 80 % totalvolumet. I 2000 var det en topp for denne gruppen i august. Den utgjorde da 61 % av det totale planteplanktonvolum. I 2001 var gruppen noe mindre fremtredende enn foregående år og utgjorde maksimalt bare 37 % av det samlede planteplanktonvolum.

Det var i første rekke en stor form, *Peridinium raciborskii* (*P. palustre*), som dominerte blant dinoflagellatene alle fire årene, en art som ikke er uvanlig i små, relativt humøse, myrpåvirkete tjern. *Peridinium umbonatum* (*P. inconspicuum*) ble registrert, men i mindre mengder alle fire årene. Denne arten har vanligvis størst forekomst i sure vannlokaliteter. Vannmassene i Søndre Puttjern har vært mindre sure enn normalt på grunn av tidligere kalking. Som nevnt tidligere viste imidlertid pH en svakt synkende tendens frem til august 2000, før tjernet igjen ble kalket.

Gruppen Chrysophyceae (gullalger) hadde som nevnt det største arts-/taksa-antallet alle årene, men den prosentvise andel av det samlede planteplanktonvolum var noe mindre for gruppen enn hva som er vanlig i små, forholdsvis humøse tjern, selv om den var en viktig gruppe kvantitativt gjennom hele undersøkelsesperioden i dette tjernet. Gruppen er vanligvis den mest fremtredende, også med hensyn til volumandel, i slike innsjøer, men kalkingen av tjernet har gjort forholdene mindre typiske. I 1998 utgjorde denne gruppen en større andel gjennom det meste av sesongen mens den i 1999 var mest dominerende på forsommeren. I 2000 ble gruppen igjen mer fremtredende, sesongen sett under ett og i 2001 var den, selv om den ikke dominerte, den viktigste gruppen.

Ulike chrysomonader utgjorde det meste av volumet innen Chrysophyceae. I 1998 var det også en del arter innen slekten *Dinobryon* som *D. bavaricum*, *D. crenulatum*, *D. divergens* og *D. sociale v. americanum* som fra tid til annen ble registrert med større individantall, mens disse artene bare forekom sporadisk i prøvene fra 1999 og i ennå større grad i 2000. Det samme var tilfelle med *Chrysolykos skujai*, en vanlig art i slike vannforekomster, men mest i surere vann (Brettum 1989). I 2001 var det en kraftig dominans av arten *Mallomonas caudata* innen gruppen i august da den alene utgjorde 31 % av det samlede planteplanktonvolum. Ulike chrysomonader utgjorde det meste av volumet innen Chrysophyceae.

Gruppen Cryptophyceae (svelflagellater) utgjorde en jevn andel av det samlede planteplanktonvolum i Søndre Puttjern gjennom hele vekstsesongen i 1998. Det var i første rekke ulike arter innen slekten *Cryptomonas* som var vanlig forekommende da. *Rhodomonas lacustris* og *Katablepharis ovalis*, som er vanlige i de fleste norske vannforekomster men forsvinner i de sure vannforekomstene med pH < 5-5.5, ble registrert her i mindre mengder. Disse ble også registrert i 1999 i prøvene, men da med en større andel av *Katablepharis ovalis*. *Rhodomonas lacustris* ble i 1999 bare registrert i prøven fra slutten av mai. Arter innen slekten *Cryptomonas* var mest dominerende i gruppen også i 1999. I 2000 ble kun *Katablepharis ovalis* registrert i prøvene og i mindre mengder enn tidligere, mens arter innen slekten *Cryptomonas* fremdeles dominerte gruppen. Det samme var tilfelle gjennom vekstsesongen 2001. Gruppen Cryptophyceae var gjennomgående mer fremtredende i planteplanktonsamfunnet i 2001 med en maksimal andel av det samlede planteplanktonvolum på 20-25 % på det meste.

Chlorophyceae (grønnalger) var av helt underordnet betydning kvantitativt i Søndre Puttjern i 1998 og 1999, på tross av at en rekke arter eller taksa innen gruppen ble registrert i planktonet; 14 i 1998 og 11 i 1999. I 2000 ble 16 arter eller taksa funnet i prøvene og gruppen utgjorde en viktig del av det samlede planteplankton i juli med nær 50 % av totalvolumet. Det skyldtes i første rekke et stort innslag av coccoide grønnalger i planteplanktonsamfunnet. I 2001 var gruppen som helhet av mindre betydning kvantitativt, men en viss økning av coccoide former ble registrert i prøven fra juli også i 2001.

På forsommeren, og til en viss grad også om høsten, var det et betydelig innslag og en prosentvis større andel av *Pseudanabaena constricta* i 1998 og 1999, en art innen Cyanophyceae (blågrønnalger, cyanobakterier). Gjennom sesongen 2000 ble denne arten bare registrert med noe få individer, men i 2001 var det igjen et stort antall individer av arten i prøven fra september da den utgjorde 40 % av det samlede volum.

I figur 15 er vist variasjonene i klorofyll gjennom de undersøkte årene. Sammenligner en resultatene for klorofyll i 1998 og 1999 viser de stor likhet i mengde. Det var da god overenstemmelse mellom variasjonene i klorofyll innen en sesong og variasjonene i totalvolum planteplankton, slik det ofte er der planteplanktonsamfunnet er sammensatt. Maksimum både i 1998 og 1999 lå mellom 7-8 µg/l Chl a. I 2000 viser figuren at klorofyllinnholdet i prøvene fra Søndre Puttjern var markert mindre enn de to foregående år, på samme måte som totalvolum planteplankton var noe mindre. Største registrerte klorofyllmengde i 2000 var 4.25 µg/l Chl a, det vil si en reduksjon i forhold til 1998 og 1999. I 2001 var imidlertid klorofyllverdiene for sesongen igjen noe høyere, med et maksimum i august på 5.80 µg/l Chl a.

Resultatene for analyse av planteplanktonvolum og -sammensetning sammen med klorofyll i undersøkelsesperioden 1998-2001, viser at det er en del planteplankton i Søndre Puttjerns vannmasser, og at planteplanktonsamfunnet er sammensatt og variert. Totalvolum og gruppesammensetning er i store trekk det en forventer å finne i skogstjern av denne typen, selv om kalking og relativt høy pH i en viss grad har påvirket algesamfunnet. Selv om antall arter/taksa var høyere i 2000 enn i 1998 og 1999 og samfunnet mer variert, viser resultatene at totalvolumet eller algebiomassen var litt mindre. Resultatene for 2001 viser et planteplanktonsamfunn kvantitativt som i 2000, men artsantallet var omtrent som i 1998 og 1999. Resultatene for Søndre Puttjern viser et normalt sammensatt planteplanktonsamfunn for oligotroft eller næringsfattig tjern (Brettum 1989), selv om kalkingen har påvirket dette noe. Den forholdsvis store artsdiversiteten støtter denne antagelsen (Brettum og medarb.1997).

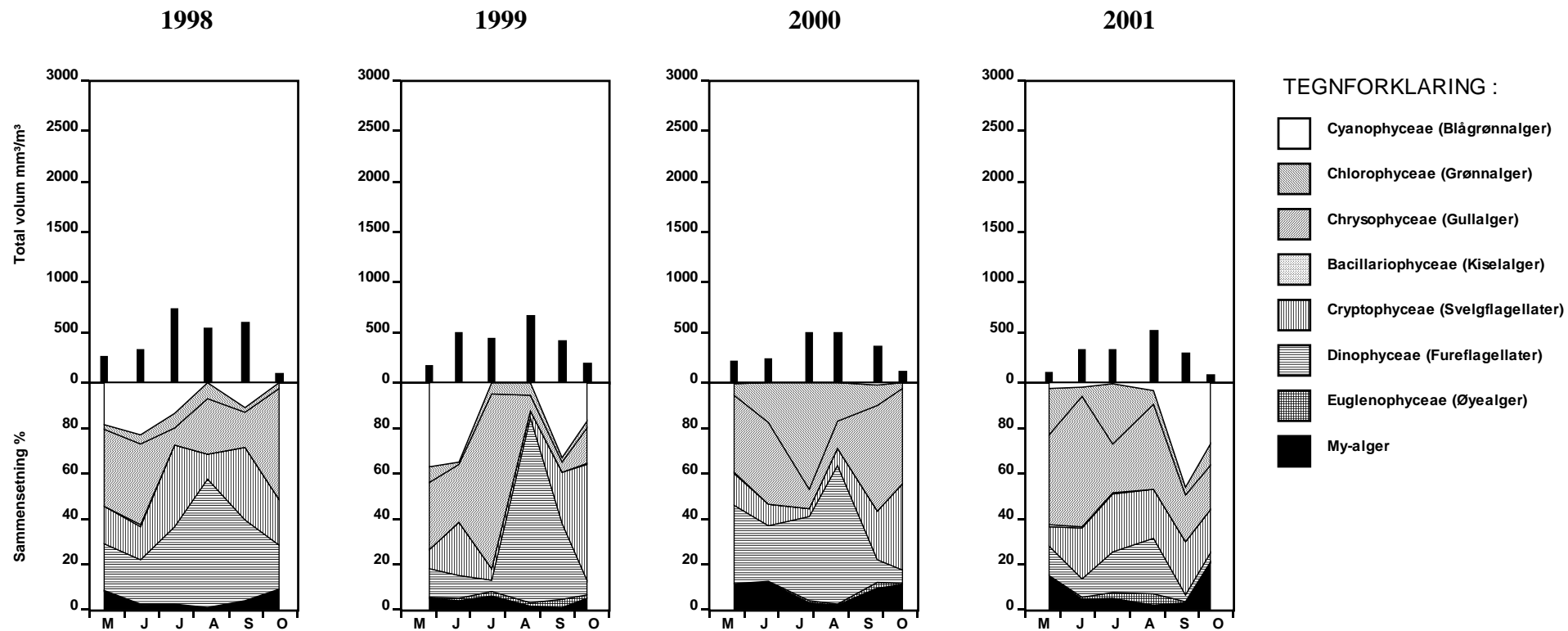


Fig.14 Variasjoner i totalvolum og sammensetning av planteplankton i Søndre Puttjern 1998, 1999, 2000 og 2001.
(Verdiene for totalvolum gitt i mm³/m³ = mg/m³)

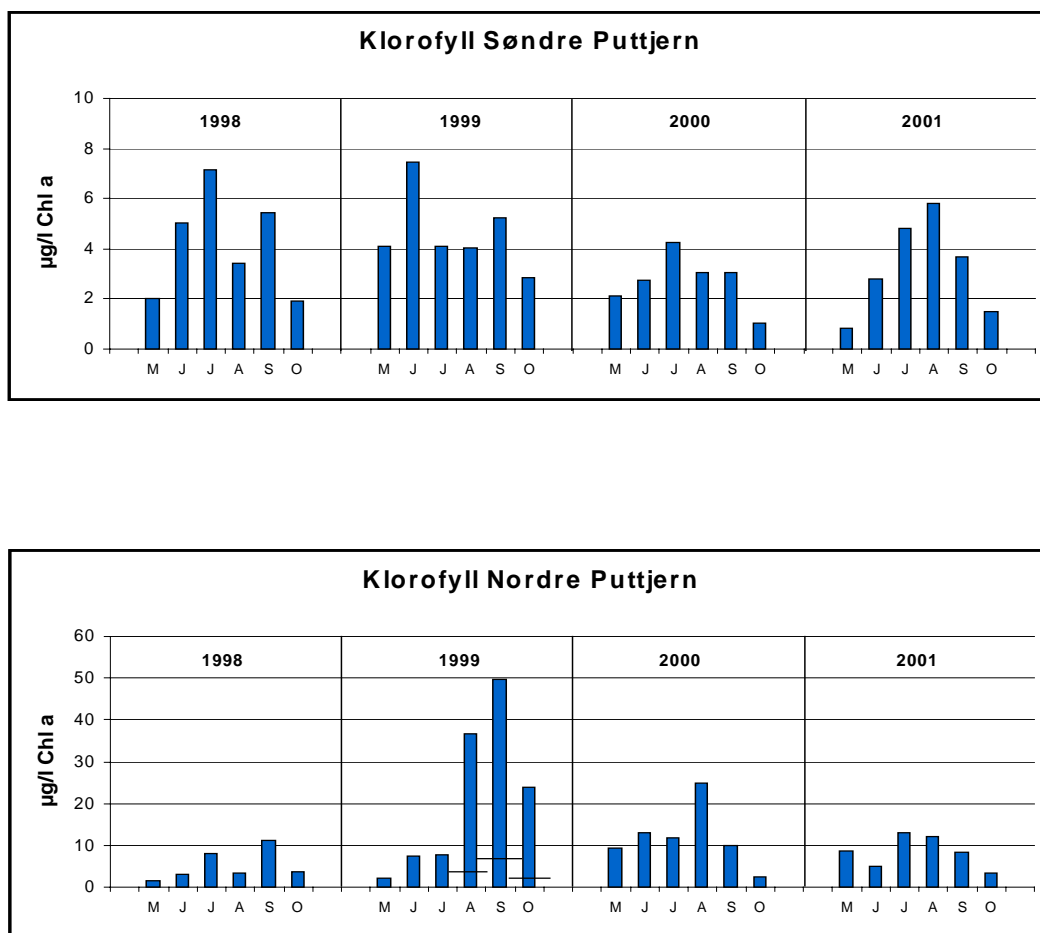


Fig. 15 Variasjoner i klorofyll 1998-2001 i Søndre- og Nordre Puttjern. De høye verdiene de tre siste prøvetakingstidspunktene i N.Puttjern i 1999, skyldes store bestander av fotosyntetiserende bakterier i prøvene. Horisontalstreker antyder omtrent hvor mye av klorofyllet som er planteplanktonklorofyll.

Nordre Puttjern

Analyseresultatene for planteplanktonanalysene er gitt i figur 16 og i tabell 6 i vedlegget. I figur 16 er sammenstilt variasjonene i totalvolum og sammensetning av planteplankton både for 1998, 1999, 2000 og 2001.

Figuren viser at planteplanktonbiomassen, eller totalvolum planteplankton, også her lå på omtrent samme nivå i 1998 og 1999. Den høyeste verdien for totalvolum i 1998 ble registrert i september med $990 \text{ mm}^3/\text{m}^3$. Maksimum i 1999 var også i september, med $873 \text{ mm}^3/\text{m}^3$. Verdiene var ikke spesielt høye, men tydet på oligomesotrofe vannmasser i dette tjernet. Det vil si vannmasser som var i overgangen mellom å være næringsfattige og middels næringsrike. Gjennomsnittsverdiene for 1998 var på $490 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ og i 1999 på $462 \text{ mm}^3/\text{m}^3$, som disse to årene viste noe mer planteplankton i Nordre Puttjern enn i Søndre Puttjern. De kjemiske analyseresultatene for Nordre Puttjern viste høye verdier for totalfosfor begge årene, noe som burde tilsi større algevolum i Nordre Puttjern enn det en registrerte. Figuren viser at det i 2000 skjedde en kraftig økning i planteplanktonbiomassen sammenlignet med de to foregående år, på tross av at fosforinnholdet var omtrent på samme nivå som i 1999. Det må derfor være andre faktorer enn tilgangen på næringssalter alene som har vært bestemmende for planteplanktonbiomassen i 2000 i Nordre Puttjern. En mulig årsak kan være at vannmassene etterhvert var blitt mindre sure, slik at flere forsuringssømfintlige arter kunne etablere seg og danne større bestander, men at det tok noe tid for artene å etablere seg og reagere på de endrete forholdene. Registrert maksimum i 2000 var på $2699 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ og gjennomsnittet for sesongen $1581 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ som, ifølge Brettum (1989), viser mesotrofe vannmasser. Resultatene for 2001 viser med hensyn til algevolum at nivået og utviklingen da var omtrent som i 2000. Maksimum i 2001 var på $3121 \text{ mm}^3/\text{m}^3$, og gjennomsnittet for sesongen på $1457 \text{ mm}^3/\text{m}^3$. Dette viser mesotrofe vannmasser på overgangen til eutrofe, eller mer næringsrike forhold (Brettum 1989).

Planteplanktonet i Nordre Puttjern var betydelig mindre variert gjennom sesongen både i 1998 og 1999 enn hva som ble registrert i Søndre Puttjern. Det er naturlig å sammenligne disse to tjernene da de i utgangspunktet sannsynligvis har vært svært like. Bare 36 arter eller taksa ble registrert totalt i prøvene fra 1998 i Nordre Puttjern. I prøvene fra 1999 ble 51 arter eller taksa registrert. Dette var en kraftig bedring. Det økte artsmangfold henger sannsynligvis sammen med den bedre vannkvaliteten som en registrerte i epilimnion i 1999 sammenlignet med forholdene i 1998. I første rekke har økt pH bidratt. Mange arter har vist seg å forsvinne fra planteplankton-samfunnet når pH blir lavere enn ca. 5-5.5. I 2000 økte totalvolum planteplankton kraftig, mens artsinventaret var omtrent det samme som i 1999. 49 arter/taksa ble registrert i sesongen 2000. I 2001 ble det som nevnt registrert omtrent samme eller litt større algebiomasse enn i 2000, og antall arter eller taksa var økt til 57.

Flest arter fant en innen gruppen Chrysophyceae (gullalger) i 1998, da denne gruppen var den helt dominerende tidlig i veksts sesongen. I juni og juli utgjorde gruppen ca. 65-67 % av det samlede planteplanktonvolum. Det var ulike chrysomonader som var mest fremtredende i 1998, men i Nordre Puttjern var det i 1998 mye av *Chrysidiastrum catenatum* og *Dinobryon sociale v. americanum* i juni og stor forekomst av *Uroglena americana* i juli. I 1999 var gruppen Chrysophyceae mindre fremtredende kvantitativt enn i 1998, selv om antall arter eller taksa var økt kraftig. I 1999 ble det registrert hele 25 arter/taksa fra denne gruppen i prøvene, det vil si halvparten av alle registreringene. Gjennom sesongen 2000 var gullalgene også kvantitativt viktige og hadde 23 registrerte arter/taksa. Til tider i 2000 var *Uroglena americana* helt dominerende art innen gruppen. I 2001 var gruppen kvantitativt mindre viktig, mens antall arter eller taksa var omtrent det samme som tidligere.

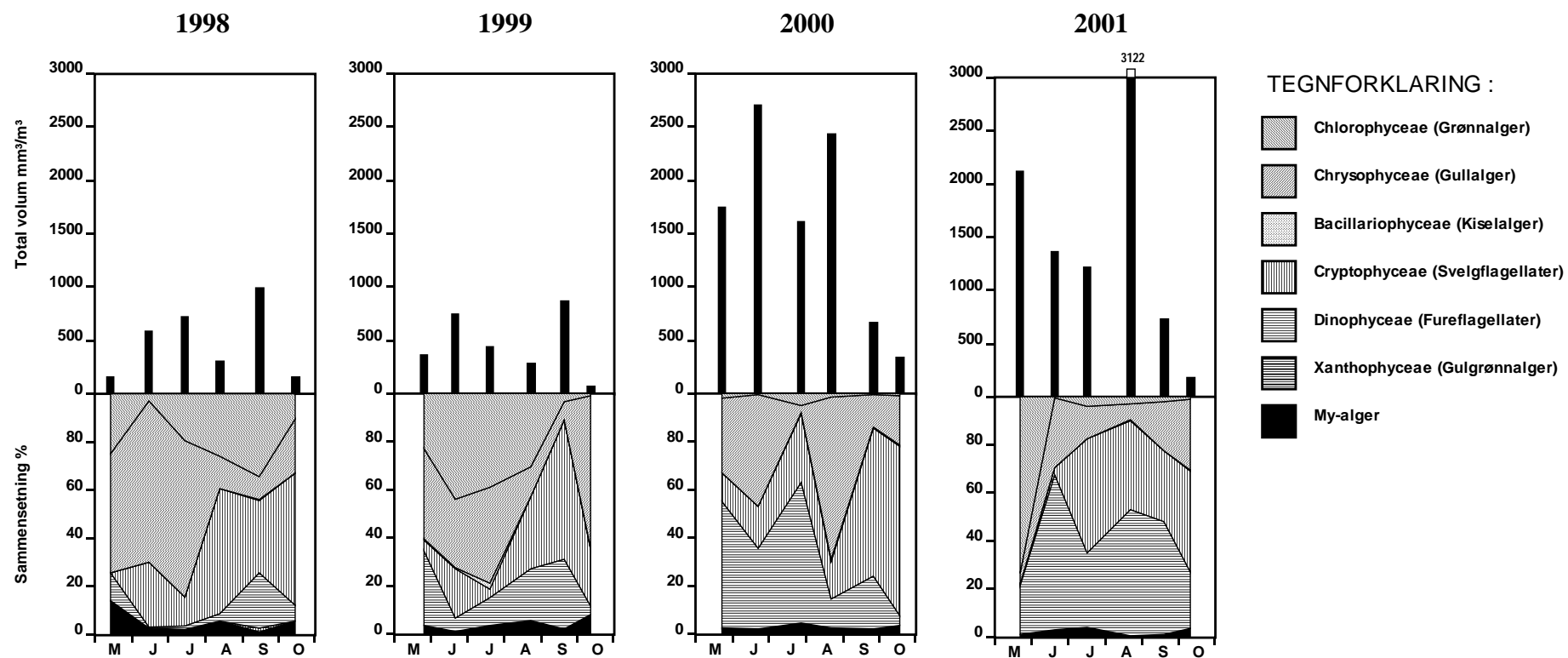


Fig.16 Variasjoner i totalvolum og sammensetning av planteplankton i Nordre Puttjern 1998, 1999, 2000 og 2001.
(Verdiene for totalvolum gitt i $\text{mm}^3/\text{m}^3 = \text{mg}/\text{m}^3$)

Både i 1998 og 1999 økte andelen av gruppen Cryptophyceae (svelgflagellater) utover i siste halvdel av vekstsesongen, som figur 15 viser. Det var begge årene ulike arter av slekten *Cryptomonas* og en ubestemt cryptomonade som utgjorde det meste av volumet innen denne gruppen. Også i 2000 var maksimum mot slutten av vekstsesongen. I Nordre Puttjern ble de to artene *Rhodomonas lacustris* og *Katablepharis ovalis* overhodet ikke registrert, hverken i 1998, 1999 eller 2000, slik som i Søndre Puttjern i 1998 og 1999. Som nevnt tidligere forsvinner disse artene når $\text{pH} < 5\text{--}5.5$, og det må være en høyere pH over en lengre periode før de igjen etablerer seg i planteplanktonsamfunnet. Disse artene ble heller ikke registrert i planteplanktonet i 2001, selv om pH etterhvert er steget betraktelig i de øvre vannlag. Gruppen Cryptophyceae utgjorde i 2001 35–45 % av totalvolumet på det meste og var dominert av ulike arter innen slekten *Cryptomonas* og en ubestemt cryptomonade.

Gruppen Chlorophyceae (grønnalger) utgjorde en større andel av det samlede planteplankton i Nordre Puttjern både i 1998 og 1999, men mens gruppen var viktigst på ettersommeren i 1998 var den fremtredende og delvis dominerende på forsommeren i 1999. I 2000 var gruppen av helt underordnet betydning i planteplanktonet, og arter innen slekten *Chlamydomonas* og en liten flagellat innen slekten *Scourfieldia*, som var viktige i 1998 og 1999, ble bare registrert med svært små individantall i 2000. I små sure vannforekomster kan grønnalgene ofte dominere (Brettum 1996). *Scourfieldia* var særlig dominerende innen gruppen i september 1998, mens den dominerte i juni-juli i 1999. Maksimalt utgjorde den omkring en tredjedel av det samlede planteplanktonvolum. Økende andel av grønnalger i planktonsamfunnet blir også ofte registrert i innsjøer som er ute av likevekt pga. kraftige endringer i miljøet som en følge av f.eks. eutrofiering, forsurening og/eller kraftig økt tungmetallpåvirkning. Andelen går tilbake når planteplanktonsamfunnet blir mer stabilt og forholdene mer normale for denne type skogstjern. I 2001 var det i mai en art innen slekten *Chlamydomonas* som helt dominerte innen grønnalgene og utgjorde da 73 % av det totale algevolum. Resten av sesongen var denne gruppen av underordnet betydning.

Gruppen Dinophyceae (fureflagellater) var av mindre betydning i Nordre Puttjern enn i Søndre Puttjern i 1998 og 1999, vekstsesongen sett under ett. I planktonprøven fra september 1998 var det imidlertid et større individantall av arten *Peridinium umbonatum* (*P.inconspicuum*) som er en vanlig form i sure vannforekomster. Den foretrekker vanligvis vannforekomster der nitrat er den dominerende nitrogenkilden og ikke ammonium som tilfellet var i Nordre Puttjern i 1998, men øker også når innholdet av nitrat og ammonium samlet øker (Blomqvist og medarb.1993). I 1999 var innholdet av ammonium mindre enn i 1998. Også arten *Peridinium raciborskii* (*P.palustre*) hadde forholdsvis store bestander i sommerplanktonet i Nordre Puttjern i 1999. Planteplanktonet i 2000 viste økte prosentandeler av dinoflagellater, særlig første halvdel av vekstsesongen. To former av arten *Peridinium umbonatum* dominerte da denne gruppen totalt. (Den minste formen, som før ble kalt *P.inconspicuum* skal, ifølge dagens taxonomi, slås sammen med *P.umbonatum*, men er her holdt adskilt av praktiske grunner for sammenligningens skyld). Den større andelen som dinoflagellatene utgjorde i planteplanktonet i 2000 sammenlignet med 1998 og 1999, økte ytterligere i vekstsesongen 2001 da de i perioder utgjorde mer enn 60 % av det samlede algevolum. Det var de samme artene innen slekten *Peridinium* som dominerte i 2000 som også dominerte i 2001.

Ingen arter innen gruppen Cyanophyceae (blågrønnalger, cyanobakterier) ble registrert i planteplanktonet i Nordre Puttjern noen av årene i perioden 1998-2001. Findlay og Kasian (1991) påpeker at de fleste diatomeer eller kiselalger (Bacillariophyceae) og blågrønnalger eller cyanobakterier (Cyanophyceae) reduseres sterkt og mer eller mindre forsvinner fra planteplanktonsamfunnet i sure vannforekomster med $\text{pH} < 6$. Innholdet av planktoniske kiselalger var da også helt ubetydelig i Nordre Puttjern i perioden 1998-2001.

Variasjonene i klorofyll gjennom sesongene 1998, 1999, 2000 og 2001 er vist i figur 15. Som figuren viser ble det registrert forholdsvis høye verdier for klorofyll gjennom sesongen 1998 sammenlignet med Søndre Puttjern, med maksimum på mer enn 11 $\mu\text{g/l}$ Chl a i september. Tidligere er nevnt at

prøvene for de tre siste prøvetakings-tidspunktene i 1999 ble tatt slik at større bestander av fotosyntetiserende bakterier kom med i prøvene. Mengden av bakterieklorofyll kommer med i den analyserte totalmengden klorofyll, og gir derfor et helt annet mål enn planteplanktonklorofyllet alene. Ut fra erfaring med forholdet mellom klorofyll og totalvolum planteplankton fra andre lokaliteter, har en på figuren antydnet omtrent nivået for planteplanktondelen av det samlede klorofyll. Tar en disse forhold i betraktning viser figuren at innholdet av klorofyll i prøvene fra 2000 gjennomgående var høyere enn både i 1998 og 1999, noe som samstemmer med analyseresultatene for de kvantitative planteplanktonprøvene. Med unntak av klorofyllverdien for august 2000 på 25 µg/l Chl a (noe bakterieklorofyll med her ?) så synes nivået for klorofyll gjennom sesongen 2001 i store trekk å være som i sesongen 2000, noe som er overenstemmende med planteplanktonanalysene.

Resultatene for planteplankton- og klorofyllanalysene de tre årene viser at innholdet av planteplankton i Nordre Puttjern har økt sterkt, men at planteplanktonsamfunnet ennå har lavere diversitet enn i Søndre Puttjern. Forskjellen var spesielt stor i 1998, da antall registrerte arter eller taksa i Nordre Puttjern var bare det halve av det i Søndre Puttjern, pga. de kraftige endringene som skjedde med vannmassene i Nordre Puttjern som en følge av lekkasjene til Romeriksporten. De bedrete forholdene i 1999, 2000 og 2001 har ført til et mer mangfoldig planteplanktonsamfunn igjen, også i Nordre Puttjern.

Den kraftige økningen en registrerte gjennom sesongen 2000 i planteplanktonbiomasse, sammenlignet med 1999, er det vanskelig å gi en god forklaring på, da de kjemiske forholdene, særlig da plantenæringsstoffene fosfor og nitrogen, var tilnærmet de samme de to årene. Det er mulig at en årsak til den økte algebiomassen er at en, på grunn av den økte pH i vannmassene som en registrerte i 1999 og som har fortsatt i 2000 og 2001, har gitt mulighet for en rekke forsuringssømfintlige arter til på ny å etablere seg i vannmassene i Nordre Puttjern, men at denne prosessen har tatt litt tid.

5.1.3 Dyreplankton

Prøver av dyreplankton ble samlet inn månedlig i perioden mai-oktober. 5 enkeltprøver ble samlet inn hver gang ved hjelp av en 3 liters Limnos-henter fra sjiktet 0-6 m i Søndre Puttjern og fra 0-2 m i Nordre Puttjern. Enkeltprøvene ble i felt slått sammen til en blandprøve som ble filtrert gjennom duk med maskevidde 45 µm. Planktoniske krepsdyr (Crustacea) ble identifisert til art med unntak av copepoditter og nauplier av cyclopoide hoppekreps. Alle individer i prøven ble vanligvis telt opp, men i en del tilfeller med spesielt mye dyr ble nauplier av hoppekreps telt i en representativ delprøve (1/5 eller 1/10). Hjuldyr (Rotifera) ble identifisert til art eller slekt og telt opp i en representativ del av prøven (oftest 1/5 eller 1/10). Ved beregningene av biomasser (tørrvekt) ble det brukt faste spesifikke vekter for de forskjellige hjuldyrartene og for nauplier av cyclopoide og calanoide hoppekreps (Copepoda). For alle vannlopper (Cladocera) samt copepoditter og voksne av hoppekreps ble totallengder målt enten på hvert individ i prøven eller på et representativt utvalg i de tilfellene der individantallet var større enn 20. Tørrvekter av hjuldyr og nauplier samt lengde/vekt-relasjoner for de øvrige gruppene ble utledet fra Bottrell et al. (1976), Dumont et al. (1975) og Yan og Mackie (1987). Resultatene er gitt i tabellene 7 og 8 i vedlegget og vist i figurene 17-19.

Søndre Puttjern

Dyreplanktonet var i 2001 hovedsakelig dominert av arter som er vanlige i et vidt spekter av innsjøtyper (generalister), i likhet med de foregående årene. Dominerende krepsdyrarter var den calanoide hoppekrepsen *Eudiaptomus gracilis*, den cyclopoide hoppekrepsen *Cyclops scutifer* og vannloppene *Holopedium gibberum*, *Ceriodaphnia quadrangula* og *Bosmina longispina*. *H. gibberum* forekommer først og fremst i forholdsvis nærings- og kalkfattige lokaliteter (Hessen et al. 1995a og b). Antall registrerte arter var på samme nivå som i de tre foregående årene, og alle hovedgrupper som er vanlig å finne, var tilstede i planktonet.

Sammenlignet med andre innsjøer representerte gruppen hjuldyr en stor andel av totalbiomassen (36 %) i 2001, mens gruppen vannlopper utgjorde en liten andel (19 %). Totalbiomassen (sesongmiddel ca. 29 mg/m³) kan betegnes som noe lav, og det ble registrert ca. 40 % reduksjon sammenlignet med året før. Nedgangen i totalbiomassen skyldtes først og fremst lavere biomasser av vannloppene *H. gibberum* og *C. quadrangula*. Årsaken til dette var trolig mindre tilgang på næring i form av alger, bakterier og dødt organisk materiale. Økt predasjonspress ("beitepress") fra planktonspisende fisk og/eller rovlevende dyreplankton i 2001 enn i 2000 kan også være en mulig årsak. Søndre Puttjern har en bestand av abbor (Å. Brabrand, LFI, pers. oppl.), og ettersom krepsdyrplanktonet var dominert av gjennomgående små arter og individer, tydet dette på at predasjonspresset fra planktonspisende abbor var stort.

Nordre Puttjern

I likhet med årene 1998-2000 var det totale antallet registrerte arter lavere i Nordre Puttjern enn i Søndre Puttjern også i 2001. Det har imidlertid blitt registret en økning i artsantallet de senere årene, og økningen har først og fremst skjedd innen gruppen hjuldyr. Økningen i artsantallet kan sees på som en indikasjon på bedring i vannkvaliteten. Artsantallet og biomassen av krepsdyr var imidlertid fortsatt lavt, og gruppen hjuldyr representerte en uvanlig stor andel av totalbiomassen (ca. 90 %). Arter innen slektene *Keratella* og *Polyarthra* var dominerende størstedelen av sesongen. Middelbiomassen for sesongen har variert betydelig mer i Nordre Puttjern enn i Søndre Puttjern med en kraftig økning fra 1998 til 1999, ytterligere økning til 2000 og en klar nedgang igjen fra 2000 til 2001. Til sammen er dette uttrykk for at Nordre Puttjern har vært et mer ustabilt økosystem enn Søndre Puttjern.

I 1998 var vannkvaliteten i Nordre Puttjern sterkt forringet som følge av senkingen av grunnvannsspeilet i omkringliggende myrer med påfølgende pyrittoksidasjon og forsuring av avrenningsvannet. Sannsynligvis var vannkvaliteten så dårlig at vannet virket toksisk på en rekke dyreplanktonarter. Siden har det skjedd bedringer i vannkvaliteten, og hjuldyrene har svart på denne bedringen med et større artsantall og økte bestander av flere arter. Innen krepsdyrplanktonet har vi derimot i langt mindre grad sett noen positiv effekt av den bedrede vannkvaliteten. Det kan være flere årsaker til dette, men den mest sannsynlige er at bestanden av svevemygglarven *Chaoborus* har beitet meget hardt på krepsdyrplanktonet og dermed holdt bestandene nede på et svært lavt nivå (se Brettum og Løvik 2001 med referanser). Nordre Puttjern har antagelig ingen fiskebestand (Å. Brabrand pers. oppl.) som evt. kunne ha regulert bestanden av *Chaoborus*. Dermed har trolig svevemygglarven kunnet utvikle en stor bestand, noe som også indikeres av at det ble funnet flere individer i de kvantitative dyreplanktonprøvene, bl.a. i 2001.

Som konklusjon kan en si at dyreplanktonet i Søndre Puttjern var relativt artsrikt og hadde i hovedsak en sammenetning som forventet ut fra de naturgitte forholdene. Planktonet var dominert av små individer av krepsdyr og hjuldyr, noe som trolig skyldtes hardt beitepress fra planktonspisende abbor. Nedgangen i biomassen av vannlopper fra 2000 til 2001 skyldtes antagelig dårligere tilgang på føde i 2001 eventuelt i kombinasjon med økt beitepress fra abbor. Bortsett fra den nevnte nedgangen i middelbiomassen har vi ikke observert markerte endringer i dyreplanktonet i perioden 1998-2001.

Den bedrede vannkvaliteten i Nordre Puttjern har hatt positive effekter på hjuldyrplanktonet i form av økt artsantall og større biomasser av flere arter. Krepsdyrplanktonet var imidlertid svært sparsomt utviklet også i 2001. Sterkt beitepress fra svevemygglarven *Chaoborus* var sannsynligvis den viktigste årsaken til dette. Middelbiomassen har variert betydelig i årene 1998-2001. Dette henger antagelig sammen med de ustabile forholdene i tjernet både mht. vannkjemiske faktorer og biologiske faktorer som næringstilgang og predasjon fra *Chaoborus*.

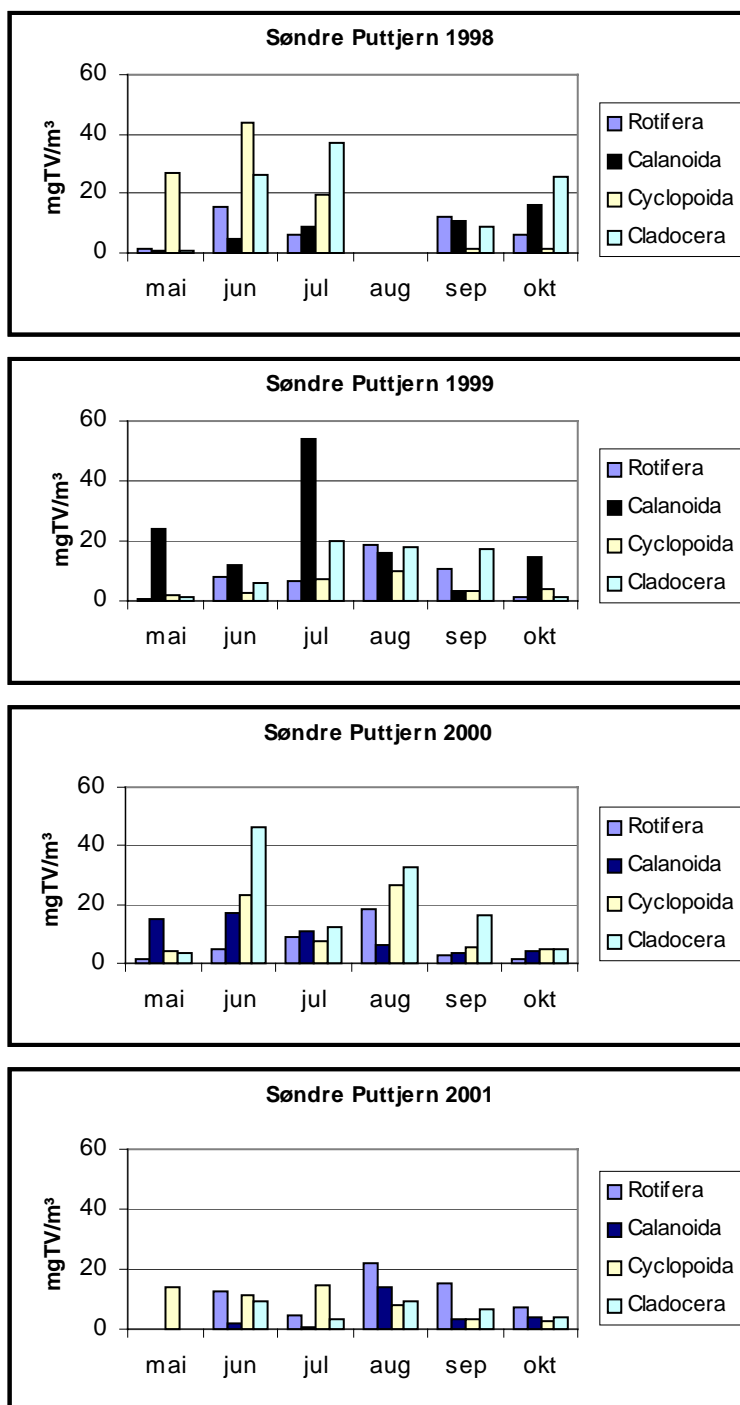


Fig. 17 Dyreplankton i Søndre Puttjern 1998, 1999, 2000 og 2001 fordelt på hovedgruppene hjuldyr (Rotifera), cyclopoide hoppekreps og vannlopper (Cladocera). Mengdene er gitt som mg tørrvekt pr. m³ i sjiktet 0-6 m.

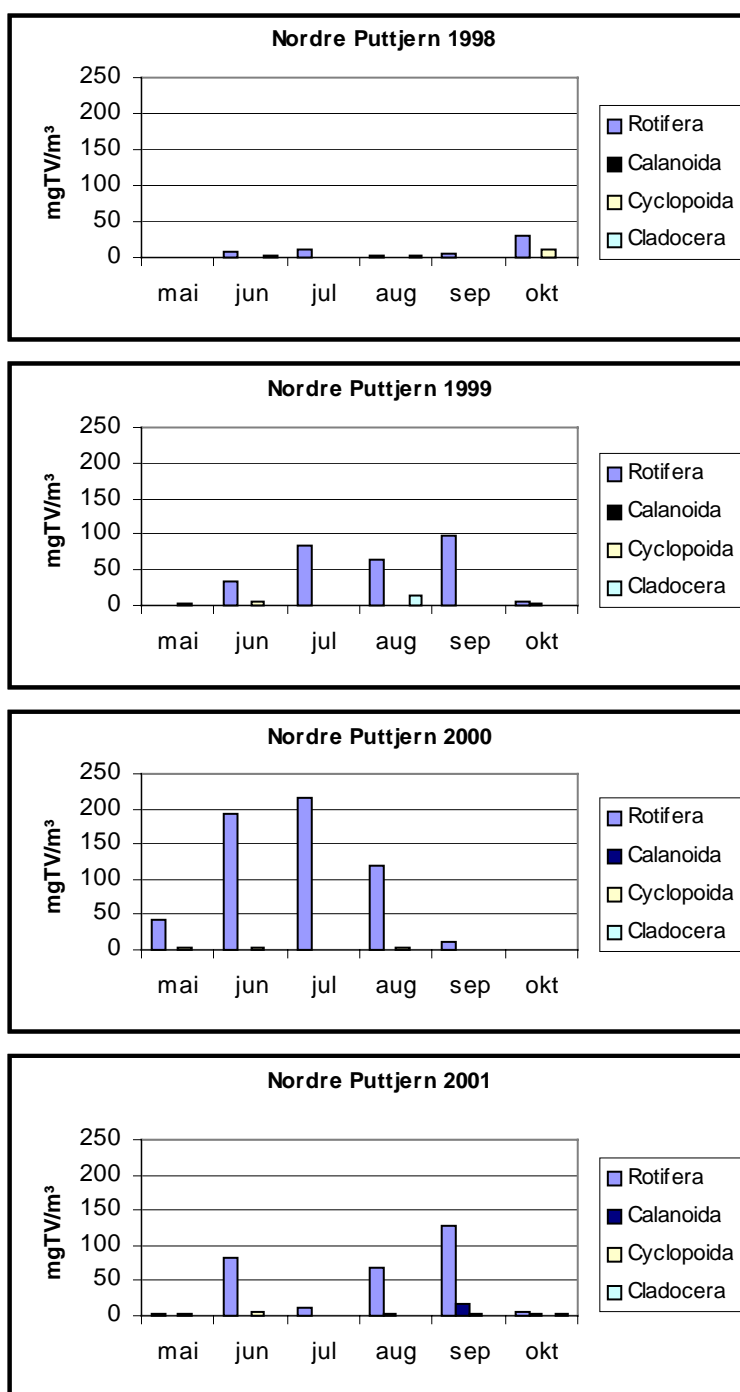


Fig. 18 Dyreplankton i Nordre Puttjern 1998, 1999, 2000 og 2001 fordelt på hovedgruppene hjuldyr (Rotifera), cyclopoide hoppekreps og vannlopper (Cladocera). Mengdene er gitt som mg tørrvekt pr.m³ i sjiktet 0-2 m.

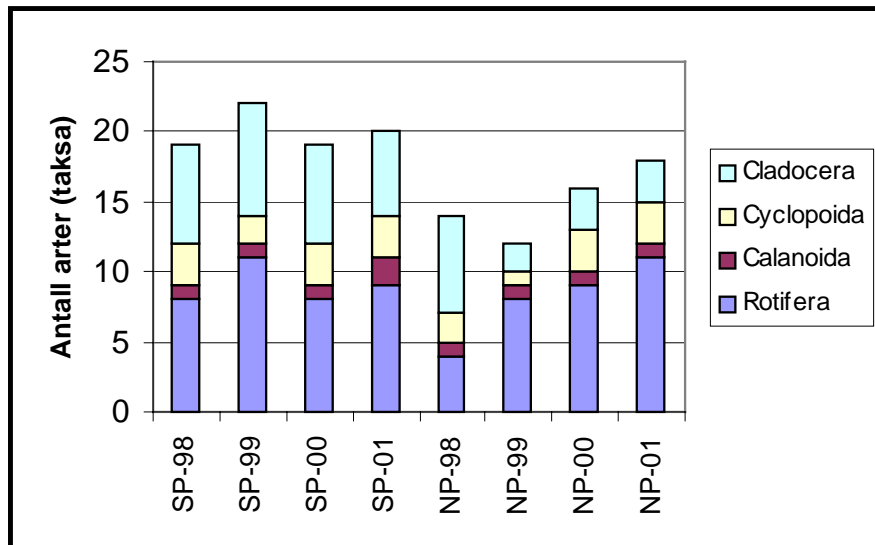


Fig. 19 Totalt antall arter (taksa) av dyreplankton i Søndre og Nordre Puttjern i 1998-2001 fordelt på hovedgrupper. (SP=Søndre Puttjern, NP=Nordre Puttjern).

5.2 Bekkelokaliteter

5.2.1 Fysisk-kjemiske forhold

Ellingsrudvassdraget

Puttjernsbekken (P1) (figur 20 og 21, tabell 9 i vedlegg)

Figur 20 viser at vannmassene på denne stasjonen i 1998 var gjennomgående forholdsvis sure, men at pH varierte mye fra prøvetaking til prøvetaking, fra svært surt vann med verdier på 4.68 og 4.79 til bare svakt surt med verdier på 6.43 og 6.49. Selv om det var en del variasjoner i pH på denne stasjonen også i 1999, ble minimum da registrert med 5.51 og maksimum med 6.72, litt høyere enn i 1998. I 2000 var variasjonene på prøvetakingstidspunktene innenfor det samme intervallet som i 1999, med minimum på 5.81 og maksimum på 6.50. Nedgangen i pH i oktober sammenlignet med september 2000 skyldtes antagelig at det da rant vann ut av Nordre Puttjern til bekken, med noe surere vann enn det som kom fra nedbørfeltet nedenfor. Nivået og variasjonene i pH gjennom 2001 var gjennomgående litt høyere enn tidligere år, med minimum på 5.94 og maksimum på 6.88.

I 1998 rant det ikke vann ut av Nordre Puttjern til bekken etter at lekkasjene til Romeriksporten startet, med unntak av en kort periode helt i begynnelsen av november. Vannet i Puttjernsbekken var mer eller mindre surt avhengig av om det meste av vannet kom fra nedbørfeltet til bekken nedenfor utløpet fra Nordre Puttjern, eller fra større myrområder lenger ned og vest for utløpsbekken med meget surt vann. Avløpet fra disse myrområdene løper sammen med bekkeløpet fra Nordre Puttjern før prøvetakingsstasjonen (P1).

Store deler av sesongen 1999 rant det vann ut av Nordre Puttjern til bekken. Som vi har sett økte pH i de øverste vannlag i tjernet betraktelig i 1999 noe som kan ha vært medvirkende til å dempe noe av innflytelsen av det surere vannet fra myrområdene lengre nede. Den lave pH-verdien i juli 2000, da det rant svært lite vann i Puttjernsbekken, kan skyldes at det meste av avrenningen forbi stasjon P1 da kom fra disse myrområdene. Det meste av sesongen 2001 rant det vann ut av Nordre Puttjern til bekken, og med økt pH i de øvre vannlag i tjernet påvirket dette pH i bekkens vannmasser. Resultatene gjenspeiler også kalkingen i området.

Konduktiviteten varierte mye i 1998, fra 3.19 til 9.07 mS/m og partikkelinnholdet målt som turbiditet viste da forholdsvis lave verdier, for det meste mellom 0.3 og 0.8 FTU, men økte av og til ved snøsmelting og mye nedbør som førte til økt utvasking til bekken. I 1999 varierte også verdiene for konduktivitet relativt mye, fra 3.26 til 8.25 mS/m, altså innenfor samme ramme som i 1998. For turbiditeten lå de fleste målingene i 1999 også mellom 0.3 og 0.8 FTU som i 1998, men økte kraftig til 1.40 og 2.90 FTU i en periode med lite nedbør, da omtrent alt vannet kom fra myrområdene lenger ned. På samme måte som for pH ble det registrert jevnere verdier gjennom sesongen 2000 for konduktivitet, som varierte mellom 4.37 og 5.71 mS/m. Turbiditeten var også relativt jevn, men for det meste noe høyere enn i 1999. I juli var det minimum også for turbiditet. Dette var en forholdsvis tørr periode da det meste av vannet til bekken var noe surere, elektrolyttfattig vann med mindre partikkelinnhold. I 2001 var nivået for konduktivitet jevnere og lavere enn tidligere og gjenspeilte forholdene i Nordre Puttjern ved at vann rant til bekken fra tjernet det meste av sesongen. Konduktiviteten i tjernet sank fra 2000 til 2001. Konduktiviteten i 2001 varierte mellom 2.98 og 4.02 mS/m. Også turbiditeten var jevnere gjennom sesongen i 2001 enn tidligere og varierte mellom 0.65 og 1.20 FNU (tidligere FTU).

Verdiene for farge var for det meste meget høye men varierte svært i 1998, fra 34.6 mg/l Pt og relativt lite tilførsler av myrvann, til over 200 mg/l Pt. Dette viser kraftig påvirkning av myrvann med høyt

humusinnhold. I 1999 lå fargeverdiene for de fleste målingene mellom 64.7 og 103 mg/l Pt, men i perioden med lite nedbør, fra midten av august til midten av september, økte verdiene helt opp i 285 mg/l Pt som viser stort humusinnhold i vannet og mest tilførsler fra myrområdene. I 2000 var fargeverdiene, som verdiene for andre parametre, jevnere gjennom feltsesongen. De varierte mellom 54.2 og 132 mg/l Pt. Høye verdier om sommeren med mest vann fra myrområdene, men også i oktober med kraftig nedbør og stor utvasking til bekken.

I 2001 var verdiene for fargetall omtrent som i 2000. Med overløp fra tjernet til bekken store deler av sesongen, fikk en de høyeste verdiene når denne tilførselen var liten og det meste kom som avrenning fra myrområdene, men også i oktober med stor utvasking fra nedbørfeltet til bekken. Fargeverdiene i 2001 varierte mellom 44.9 og 141 mg/l Pt.

Innholdet av totalt organisk karbon (TOC) var på samme måte svært varierende i 1998 og viste samme varierende påvirkning av vanntyper. I 1998 lå verdiene for det meste mellom 6.0 og 15.7 mg/l C med kraftig økning til 23.9 mg/l C i den tørre perioden. I 1999 lå de fleste verdiene mellom 7.4 og 11.7, men med økning til 26.2 mg/l C i den tørre perioden med hovesakelig tilførsler fra myrområdene. Målingene viser at det er mye organisk stoff, vesentlig i form av humusstoffer, i vannet. Gjennom 2000 var det jevnere verdier også for TOC som varierte mellom 6.5 og 14.2 mg/l C. Høyeste verdien ble registrert i juli med mye tilførsler av myrvann og i oktober med mye nedbør og utvasking til bekken. I 2001 varierte verdiene for TOC mellom 6.8 og 15.1 mg/l C. Variasjonene i fargetall og TOC følger hverandre nøye gjennom sesongen som figur 20 og 21 viser.

I 1998 varierte totalfosforinnholdet for det meste mellom 4 og 8 µg/l P, men enkelte analyseresultater viste verdier på 9, 13 og hele 32 µg/l P på denne stasjonen. I 1999 lå de fleste målingene av totalfosfor mellom 5 og 12 µg/l P, men i forbindelse med en lengre tørkeperiode, ble totalfosforverdier på hele 46 og 54 µg/l P målt. Totalfosfor varierte i 2000 mellom 6 og 17 µg/l P i 2001 mellom 10 og 18 µg/l P.

Totalnitrogen i Puttjernsbekken viser gjennomgående noe høyere verdier enn en vanligvis registrerer i vann som drenerer fra relativt sure skogs- og myrområder. Verdiene varierte mye i 1998, for det meste mellom 355 og 635 µg/l N men også med en verdi på hele 840 µg/l N. I 1999 lå verdiene mellom 320 og 465 µg/l N, men en kraftig økning ble registrert også for denne parameteren ved målingene i august og september. Da ble det målt nær det tredobbelte for totalnitrogen, 1270 og 1320 µg/l N. I 2000 viste totalnitrogen mellom 415 og 580 µg/l N noe som er jevnere verdier enn tidligere år, og dette var tilfelle også gjennom sesongen 2001 da innholdet av totalnitrogen varierte mellom 245 og 380 µg/l N.

Sure vannmasser fører til økt utløsning av aluminium, og verdiene som ble registrert var i 1998 ganske høye men svært variable. Labilt aluminium varierte mellom 2 og 148 µg/l Al. 14. september og 28. oktober ble innholdet av labilt aluminium beregnet til 105 og 148 µg/l Al. Tilsvarende målinger i 1999 viste labilt aluminium mellom 16 og 63 µg/l Al. Det ble registrert noe mindre variasjoner i aluminiumsinnholdet i 1999 enn i 1998. Gjennom sesongen 2000 varierte labilt aluminium mellom 8 og 36 µg/l Al, noe som er under tålegrensen for ørret, 80 µg/l labilt Al (Lydersen og Löfgren 2001). I 2001 var innholdet av labilt aluminium redusert ytterligere og varierte mellom 1 og 17 µg/l Al.

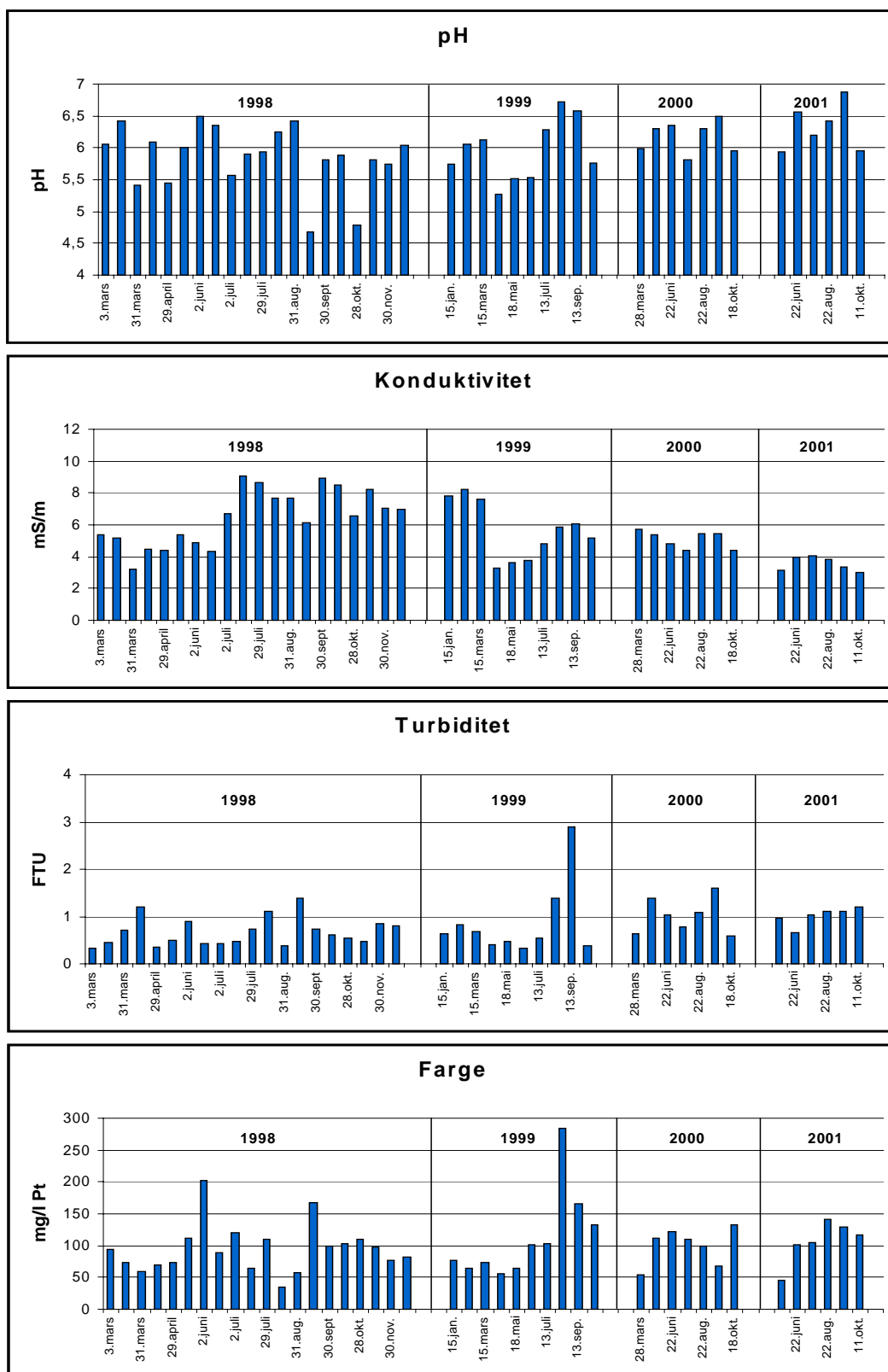


Fig. 20 Variasjoner i pH, konduktivitet, turbiditet og farge i Puttjernsbekken (P1) 1998-2001.

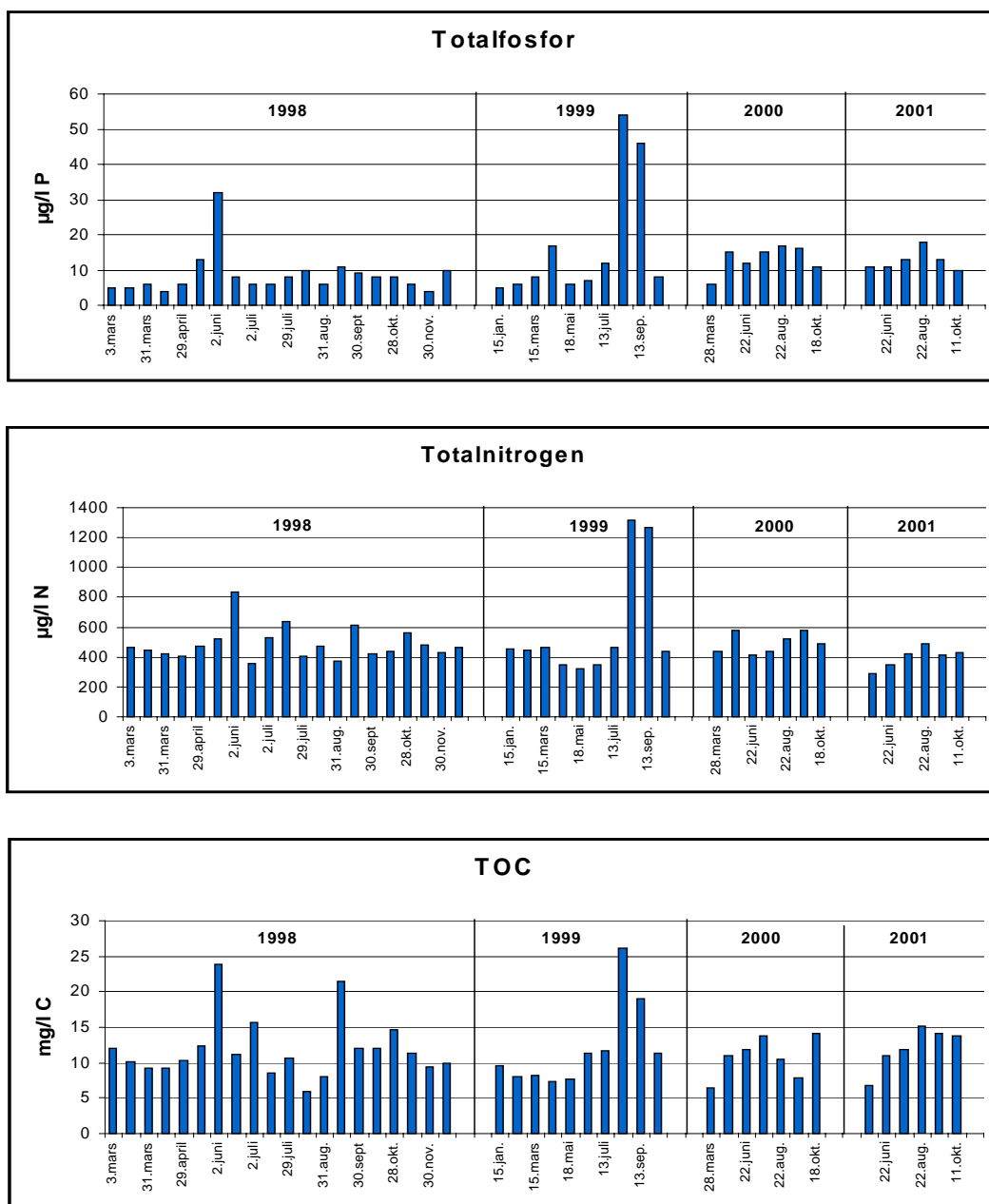


Fig. 21 Variasjoner i totalfosfor, totalnitrogen og TOC i Puttjernsbekken (P1) 1998 - 2001.

6. Referanser

- Allan, J.D. 1976. Life history patterns in zooplankton. Amer. Natur. 110: 165-180.
- Biesinger, K. og G.M. Christensen. 1972. Effects of various metals on survival, growth, reproduction and metabolism of *Daphnia magna*. J. Fish. Res. Bd. Canada 29: 1691-1700.
- Blomqvist, P., Bell, R.T., Olofsson, H., Stensdotter, U. og Vrede, K. 1993. Pelagic Ecosystem Responses to Nutrient Additions in Acidified and Limed Lakes in Sweden. Ambio 22 (5): 283-289.
- Bottrell, H.H., A. Duncan, Z.M. Gliwics, E. Grygierek, A. Herzig, A. Hillbricht-Ilkowska, H. Kurasawa, P. Larsson, og T. Weglenska. 1976. A review of some problems in zooplankton production studies. Norw. J. Zool. 24: 419-456.
- Bratli, J.L., Andersen, J.R., Fjeld, E., Faafeng, B., Grande, M., Hem, L., Holtan, H., Krogh, T., Lund, V., Rosland, D., Rosseland, B.O., og Aanes, K.J. 1997. 1997. Statens forurensningstilsyn (SFT). Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. Veiledning nr.97:04. 31 s.
- Brettum, P. 1984. Planteplankton, telling. I: Vassdragsundersøkelser. En metodebok i limnologi. K. Vennerød (red.). Norsk Limnologiforening. Universitetsforlaget, Oslo. 146-154.
- Brettum, P. 1989. Alger som indikator på vannkvalitet i norske innsjøer. Planteplankton. NIVA-rapport nr.2344. O-86116. 111 s.
- Brettum, P. 1996. Changes in the volume and composition of phytoplankton after experimental acidification of a humic lake. Environ. Intern. 22 (5): 619-628.
- Brettum, P., Faafeng, B. og Oredalen T.J. 1997. Virkninger av forurensning på biologisk mangfold: Vann og vassdrag i by og tettstedsnære områder. Biologisk mangfold av planteplankton - En kunnskapsstatus. NIVA-rapport nr.3770-97. P-966024. 73 s.
- Brettum, P., Berge, D., Løvik, J.E., Mjelde, M., Saltveit, S.J., Brabrand, Å. og Bremnes, T. 1999. Undersøkelse av vannkvalitet og økologiske forhold i Østmarka berørt av lekkasjene til Romeriksporten. NIVA-rapport nr. 4019-99. O-97234. 137 s.
- Brettum, P. og Løvik, J.E. 1999. Overvåking i 1999 av vannkvalitet og økologiske forhold i vassdrag i Østmarka berørt av lekkasjene til Romeriksporten. NIVA-rapport nr. 4137-99. O-97234. 57 s.
- Brettum, P. og Løvik, J.E. 2001. Overvåking i 2000 av vannkvaliteten i Puttjernene, Puttjernsbekken og Lutvannsbekken i Østmarka. Sammenligning med resultatene fra undersøkelsene i 1998 og 1999. NIVA-rapport nr. 4329-2001. O-97234. 77 s.
- Dumont, H.J., I. Van de Velde og S. Dumont. 1975. The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. Oecologia, 19: 75-97.

- Findlay, D.L. og Kasian, S.E.M. 1991. Response of a phytoplankton community to controlled partial recovery from experimental acidification. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48: 1022-1029.
- Hairston, N. G., Jr. 1996. Zooplankton egg banks as biotic reservoirs in changing environments. *Limnol. Oceanogr.* 41 (5): 1087-1092.
- Hessen, D.O., B.A. Faafeng og T. Andersen. 1995 a. Competition and niche segregation between *Holopedium* and *Daphnia*; empirical light on abiotic key parameters. *Hydrobiologia* 307: 253-261.
- Hessen, D.O., B.A. Faafeng og T. Andersen. 1995 b. Replacement of herbivore zooplankton species along gradients of ecosystem productivity and fish predation pressure. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52: 733-742.
- Lien, L. 1998. Lutvannsbekken. En foreløpig vurdering av vannføring og vannkvalitet. NIVA-rapport nr.3968-98.11 s.
- Lydersen, E. og Löfgren, S. 2001. Potential effects of metals in reacidified limed water bodies in Norway and Sweden. *Environ. Mon. Ass.* (in press).
- Olrik, K., Blomqvist, P., Brettum, P., Cronberg, G. og Eloranta, P. 1998. Methods for Quantitative Assessment of Phytoplankton in Freshwaters, part I. Naturvårdsverkets rapport nr.4860. 86 s.
- Rott, E. 1981. Some results from phytoplankton counting intercalibrations. *Schweiz. Z. Hydrol.* 43. 34-62.
- Schartau, A.K.L., A.. Hobæk, B. Faafeng, G. Halvorsen, J.E. Løvik, T. Nøst, A.L. Solheim, og B. Walseng. 1997. Diversitet av dyreplankton og litorale krepsdyr – naturlige gradienter og effekter av forurensninger, fysiske inngrep og introduksjoner. NINA temahefte 14, NIVA-rapport, løpenr. 3768: 1-58.
- Soranno, P.A., S.R. Carpenter og S.M. Moegenburg. 1993. Dynamics of the phantom midge: implications for zooplankton. p. 103-115. In: Carpenter, S.R. and J.F. Kitchell (eds.) *The trophic cascade in lakes*. Cambridge University Press, New York.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. *Mitt. int. Verein. Limnol.* 9. 1-38.
- Yan, N.D. og G.L. Mackie. 1987. Improved estimation of the dry weight of *Holopedium gibberum* (Crustacea, Cladocera) using clutch size, a body fat index, and lake water total phosphorus concentration. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 382-389.

7. Vedlegg

Tabell 1 Temperatur-, oksygen- og siktedypsmålinger i Søndre Puttjern 2001

Dato	28.mars		22.mai		20.juni		17.juli		22.aug.		19.sep.		11.okt.	
Dyp i m	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l
0	0.6	10.7	10.0	10.1	15.8	9.2	16.5	8.0	15.8	8.8	12.5	8.7	8.8	8.7
1	2.6	6.8	8.9	9.5	15.2	9.8	16.5	8.0	15.8	8.0	12.2	8.6	8.8	8.8
2	3.8	5.6	6.4	9.2	12.5	10.5	16.4	7.9	15.3	6.0	11.6	8.3	8.8	8.4
3	4.2	4.0	5.3	8.0	9.1	10.0	14.4	8.5	14.3	4.7	11.4	8.1	8.8	8.3
4	4.3	2.8	4.7	4.6	6.6	6.1	9.7	6.3	11.9	3.0	11.2	7.7	8.8	8.6
5	4.5	2.0	4.5	2.3	5.5	2.8	7.0	2.6	8.7	1.8	9.0	0.5	8.5	7.5
6	4.7	1.0	4.5	1.2	5.0	1.3	5.6	0.2	6.5	1.1	7.3	0.4	7.6	0.9
7	4.8	0.8	4.5	0.3	4.8	0.5	5.1	0.1	5.6	0.9	6.1	0.3	6.2	0.2
8	4.9	0.6	4.6	0.2	4.7	0.5	4.9	0.1	5.2	0.7	5.5	0.3	5.5	0.2
9	5.0	0.6	4.8	0.2	4.8	0.5	4.8	0.1	5.1	0.7	5.2	0.3	5.2	0.2
10	5.0	0.5	4.9	0.1	4.8	0.4	4.8	0.1	5.0	0.7	5.2	0.2	5.1	0.2
Siktedyp i m		4.05		4.25		4.80		3.50		3.60		3.60		

Tabell 2 Temperatur-, oksygen- og siktedypsmålinger i Nordre Puttjern 2001

Dato	28.mars		22.mai		20.juni		17.juli		22.aug.		19.sep.		11.okt.	
Dyp i m	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l
0	0.6	4.3	11.5	10.1	17.1	8.3	15.8	6.8	16.1	7.8	12.3	7.6	8.8	5.7
1	2.8	2.6	8.0	6.1	12.4	3.0	15.5	5.7	12.3	3.5	11.1	3.0	8.8	5.6
2	3.6	1.3	5.4	2.8	8.1	1.6	11.6	0.5	10.5	1.2	9.6	0.6	8.8	4.5
3	4.2	0.6	4.5	0.4	5.6	0.6	6.7	0.2	8.0	0.9	8.2	0.4	8.2	0.5
4	4.6	0.5	4.5	0.2	4.8	0.6	5.3	0.1	6.0	0.7	6.4	0.4	6.9	0.2
5	4.9	0.6	4.7	0.1	4.7	0.4	5.0	0.1	5.3	0.6	5.6	0.3	5.9	0.2
6	5.2	0.5	4.9	0.1	4.9	0.4	4.9	0.1	5.1	0.8	5.3	0.2	5.4	0.1
7	5.3	0.4	5.1	0.1	4.9	0.3	5.1	0.1	5.2	0.7	5.3	0.2	5.3	0.1
8	5.2	0.4	5.2	0.1	5.0	0.3	5.2	0.1	5.3	0.6	5.4	0.2	5.3	0.1
9			5.3	0.1	5.0	0.3	5.2	0.1	5.3	0.5	5.5	0.2	5.4	0.1
Siktedyp i m		2.75		1.95		1.80		2.10		2.10		3.00		

Tabell 3 Kjemiske analyseresultater fra Søndre Puttjern 2001

Dato	Dyp	pH	Kond mS/m	Alk mmol/l	Turb FNU	Farge mg/l Pt	TOC mg/l	Tot-P µg/l	PO ₄ -P µg/l	Tot-N µg/l	NO ₃ µg/l	NH ₄ µg/l	Fe µg/l
28.mars	0-6 m	6.18	3.14	0.077	0.80	31.1	6.1	4	1	275	92	53	150
	8 m	6.84	5.69										240
22.mai	0-6 m	6.75	2.70	0.094	0.86	31.3	5.8	5	1	320	38	68	180
	8 m	7.87	12.30										910
20.juni	0-6 m	6.76	3.06		1.05	32.9	5.8	5	2	310	12	56	130
	8 m	7.65	16.90										2920
17.juli	0-6 m	6.70	3.04	0.138	1.17	29.8	5.3	6	1	375	5	34	120
	8 m	7.44	13.10										1530
22.aug.	0-6 m	7.35	5.27	0.384	1.20	36.8	6.0	7	1	295	5	34	180
	8 m	7.30	15.10										1510
19.sept.	0-6 m	7.24	5.07	0.353	0.88	43.3	4.6	6	<1	260	8	37	180
	8 m	7.50	16.30										2320
11.okt.	0-6 m	6.99	3.91		0.67	52.6	7.9	5	1	290	23	38	180
	8 m	7.67	15.00										1630

Dato	Dyp	Mn µg/l	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	Klf a µg/l
28.mars	0-6 m	56.0	1.97	2.65	0.53	0.28	2.3	5.5	
	8 m							5.4	
22.mai	0-6 m	47.5	1.45	2.68	0.38	0.25	1.7	4.6	0.84
	8 m							4.0	
20.juni	0-6 m	63.5	1.46	3.19	0.38	0.27		4.2	2.80
	8 m							2.3	
17.juli	0-6 m	59.9	1.51	3.28	0.38	0.26	1.7	4.5	4.80
	8 m							3.2	
22.aug.	0-6 m	62.7	1.63	8.45	0.53	0.24	1.7	4.3	5.80
	8 m							2.7	
19.sept.	0-6 m	72.2	1.64	7.71	0.52	0.21	1.8	4.0	3.70
	8 m							2.3	
11.okt.	0-6 m	68.8	1.65	5.40	0.50	0.21	2.1	4.1	1.50
	8 m							2.2	

Tabell 4 Kjemiske analyseresultater fra Nordre Puttjern 2001

Dato	Dyp	pH	Kond mS/m	Alk mmol/l	Turb FNU	Farge mg/l Pt	TOC mg/l	Tot-P µg/l	PO ₄ -P µg/l	Tot-N µg/l	NO ₃ µg/l	NH ₄ µg/l	Fe µg/l
28.mars	0-2 m	5.99	3.50	0.074	0.68	44.1	6.1	8	1	355	92	53	210
	2 m	5.77	3.54										220
	4 m	5.86	3.56										440
	7 m	6.43	51.60										11700
22.mai	0-2 m	6.39	2.41	0.060	1.10	36.0	5.5	11	2	330	5	5	100
	2 m	6.26	2.90										170
	4 m	6.61	3.57										590
	7 m	6.94	55.30										9960
20.juni	0-2 m	6.31	2.58		1.36	47.6	6.6	17	1	315	<1	<5	120
	2 m	6.05	2.72										190
	4 m	6.15	3.16										440
	7 m	6.15	59.10										13700
17.juli	0-2 m	6.24	2.66	0.094	1.44	68.5	7.3	15	3	375	<1	<5	240
	2 m	5.93	2.86										330
	4 m	6.04	3.33										580
	7 m	6.31	56.00										8200
22.aug.	0-2 m	6.95	4.81	0.322	1.20	70.4	7.8	19	2	380	<1	<5	300
	2 m	6.61	4.01										320
	4 m	6.47	3.81										680
	7 m	6.34	56.10										6830
19.sept.	0-2 m	6.71	3.71	0.175	0.90	65.0	7.5	12	2	335	11	10	270
	2 m	6.10	3.54										360
	4 m	6.35	4.37										970
	7 m	6.34	54.00										5490
11.okt.	0-2 m	6.48	3.27		0.77	65.0	8.1	9	<1	245	46	23	230
	2 m	6.32	3.28										230
	4 m	5.97	4.14										860
	7 m	6.50	55.10										4640

Tabell 4 (forts.) Kjemiske analyseresultater fra Nordre Puttjern 2001

Dato	Dyp	Mn µg/l	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	Klf a µg/l
28.mars	0-2 m	64	1.90	3.08	0.64	0.32	2.2	7.0	
	2 m							7.0	
	4 m							6.3	
	7 m							34.0	
22.mai	0-2 m	33	1.21	2.02	0.38	0.34	1.2	5.2	8.7
	2 m							5.8	
	4 m							4.4	
	7 m							228.0	
20.juni	0-2 m	49.9	1.25	2.17	0.39	0.37		5.1	5.0
	2 m							5.4	
	4 m							5.3	
	7 m							244.0	
17.juli	0-2 m	59.0	1.39	2.43	0.40	0.37	1.4	4.6	13.0
	2 m							5.1	
	4 m							5.2	
	7 m							210.0	
22.aug.	0-2 m	78.8	1.55	6.79	0.63	0.37	1.4	5.6	12.0
	2 m							6.4	
	4 m							3.5	
	7 m							201.0	
19.sept.	0-2 m	49.1	1.40	4.54	0.59	0.35	1.4	4.8	8.4
	2 m							5.0	
	4 m							3.1	
	7 m							188	
18.okt.	0-2 m	36.1	1.55	3.50	0.52	0.31	1.9	5.1	3.4
	2 m							5.1	
	4 m							2.9	
	7 m							182.0	

Tabell 5 Kvantitative planteplanktonanalyser av prøver fra : Søndre Puttjern, 1, 0-6 m

Verdier gitt i mm ³ /m ³ (=mg/m ³ våtvekt)						
	År	2001	2001	2001	2001	2001
	Måned	5	6	7	8	9
	Dag	22	20	17	22	19
Cyanophyceae (Blågrønnalger)						
Merismopedia tenuissima		.	.	0,6	14,0	16,2
Pseudanabaena constricta		2,8	6,0	.	3,2	118,1
Sum - Blågrønnalger		2,8	6,0	0,6	17,2	134,3
Chlorophyceae (Grønnalger)						
Chlamydomonas sp. (l=8)		21,9	2,6	10,3	8,6	2,4
Cosmarium sp.		0,3
Cosmarium sphagnicolum v.pachygonum		.	.	0,4	.	.
Crucigenia quadrata		.	.	.	0,4	.
Cyste av Chlorogonium maximum		.	.	0,1	.	.
Elakatothrix gelatinosa (genevensis)		.	.	.	0,8	.
Euastrum denticulatum		.	0,3	.	.	.
Monoraphidium dybowskii		0,2	1,3	6,7	4,0	3,6
Oocystis rhomboidea		.	0,8	0,7	.	.
Oocystis submarina v.variabilis		.	0,7	4,9	1,6	0,7
Paramastix conifera		.	0,1	.	.	1,6
Scenedesmus ecomis		.	.	0,1	.	0,1
Scourfieldia cordiformis		0,1	.	.	2,5	1,9
Ubest.cocc.gr.alge (Chlorella sp.?)		.	8,3	64,9	13,9	.
Sum - Grønnalger		22,2	14,2	88,1	31,8	10,5
Chrysophyceae (Gullalger)						
Bitrichia chodatii		0,3	0,3	.	0,3	0,3
Chrysidiastrum catenatum		.	0,8	.	0,4	.
Chrysolykos skujai		.	1,3	.	.	.
Craspedomonader		0,7	.	0,3	0,7	0,8
Cyster av Bitrichia chodatii		.	0,8	.	.	.
Cyster av chrysophyceer		3,2	.	.	.	.
Dinobryon bavaricum		.	7,9	0,0	1,3	0,2
Dinobryon crenulatum		.	20,7	4,8	1,2	.
Dinobryon divergens		.	0,6	.	.	2,5
Dinobryon sociale v.americanum		.	27,5	9,5	.	.
Kephyrion boreale		.	.	0,1	.	.
Kephyrion sp.		.	0,8	.	0,4	0,2
Løse celler Dinobryon spp.		.	35,1	3,0	0,4	.
Mallomonas caudata		2,8	2,1	5,9	165,6	22,0
Mallomonas cf.acaroides		.	3,1	5,1	0,5	2,1
Mallomonas punctifera (M.reginae)		.	5,1	0,4	.	0,6
Mallomonas spp.		0,3	5,2	13,8	.	.

Tabell 5 (forts.)

Ochromonas sp. (d=3.5-4)	8,2	16,0	8,8	5,8	7,0	4,2
Små chrysomonader (<7)	15,7	47,0	12,4	10,2	18,3	4,7
Store chrysomonader (>7)	12,1	15,5	7,8	6,9	3,4	0,9
Synura sp. (l=9-11 b=8-9)	.	.	.	.	0,9	.
Ubest.chrysomonade (Ochromonas sp.?)	0,7	1,0	.	.	0,3	.
Ubest.chrysophyceae	.	.	0,4	0,2	.	1,7
Uroglena americana	.	.	.	.	1,7	2,3
Sum - Gullalger	43,9	190,9	72,1	193,7	60,3	15,2

Bacillariophyceae (Kiselalger)

Eunotia lunaris	0,2	.	.	.	.	0,1
Frustulia rhomboides v.saxonica	0,5	.	.	.	.	.
Stenopterobia intermedia	.	.	0,4	.	.	.
Tabellaria flocculosa	.	0,8	.	.	.	.
Sum - Kiselalger	0,7	0,8	0,4	0,0	0,0	0,1

Cryptophyceae (Svelgflagellater)

Cryptomonas erosa v.reflexa (Cr.refl.?)	.	.	6,8	4,0	1,2	1,1
Cryptomonas marssonii	.	0,6	11,2	11,9	2,6	2,9
Cryptomonas sp. (l=15-18)	5,5	15,9	13,3	48,9	42,4	2,5
Cryptomonas sp. (l=20-22)	1,0	5,0	4,8	10,4	4,8	3,1
Cryptomonas spp. (l=24-30)	.	0,9	28,5	18,5	7,5	1,8
Katablepharis ovalis	0,7	4,3	12,4	3,1	0,8	1,1
Ubest.cryptomonade (Chroomonas sp.?)	2,2	23,3	6,1	7,0	2,7	1,3
Ubest.cryptomonade (l=6-8) Chro.acuta ?	0,2	25,8	1,9	6,4	7,4	1,2
Sum - Svelgflagellater	9,7	75,9	85,0	110,2	69,3	14,9

Dinophyceae (Fureflagellater)

Amphidinium sp.	.	.	0,7	.	.	.
Gymnodinium cf.lacustre	5,4	3,3	3,2	.	0,2	.
Gymnodinium cf.uberrimum	.	.	5,4	23,2	.	2,7
Gymnodinium sp. (l=14-16)	2,9	3,1	1,7	.	.	.
Peridinium raciborskii (P.palustre)	.	8,0	40,0	80,0	8,0	.
Peridinium sp. (l=15-17)	.	0,7	.	.	.	.
Peridinium umbonatum (P.inconspicuum)	4,1	8,0	7,2	24,3	.	0,4
Ubest.dinoflagellat	1,6	3,6	0,8	.	.	.
Sum - Fureflagellater	14,0	26,6	58,9	127,5	8,2	3,1

Euglenophyceae (Øyealger)

Euglena acus	0,3	0,3	3,6	10,8	1,8	0,3
Euglena oxyuris v.minor	.	2,5	5,0	15,0	.	.
Sum - Øyealger	0,3	2,8	8,6	25,8	1,8	0,3

My-alger

My-alger	16,6	15,7	17,6	11,6	9,3	16,4
Sum - My-alge	16,6	15,7	17,6	11,6	9,3	16,4

Sum totalt :	110,2	332,8	331,3	517,7	293,8	78,8
--------------	-------	-------	-------	-------	-------	------

Tabell 6 Kvantitative planteplanktonanalyser av prøver fra : Nordre Puttjern, 1, 0-2 m

Verdier gitt i mm ³ /m ³ (=mg/m ³ våtvekt)						
År	2001	2001	2001	2001	2001	2001
Måned	5	6	7	8	9	10
Dag	22	20	17	22	19	11
<hr/>						
Chlorophyceae (Grønnalger)						
Ankistrodesmus falcatus	.	.	.	1,6	.	.
Chlamydomonas sp. (l=12)	.	.	9,5	.	8,0	.
Chlamydomonas sp. (l=8)	1552,2	1,0	1,1	6,9	0,8	0,8
Dictyosphaerium pulchellum v.minutum	.	1,9	3,2	1,0	.	.
Gyromitus cordiformis	.	.	.	8,3	.	.
Hyalotheca mucosa	.	.	.	3,8	.	0,8
Koliella sp.	.	1,0	6,4	.	.	.
Monoraphidium dybowskii	.	.	0,3	.	.	.
Scourfieldia cordiformis	.	.	22,8	.	0,4	.
Thelesphaeria alpina	3,3	.	.	.	.	.
Ubest.cocc.gr.alge (Chlorella sp.?)	.	.	1,3	.	3,7	.
Xanthidium antilopaeum	.	.	.	66,3	.	.
Sum - Grønnalger	1555,6	3,9	44,5	87,8	12,9	1,6
<hr/>						
Chrysophyceae (Gullalger)						
Bicosoeca sp.	.	.	.	.	.	0,1
Bitrichia chodatii	.	0,7	16,2	3,3	0,3	.
Chromulina sp. (Chr.pseudonebulosa ?)	.	.	0,2	.	.	.
Chrysidiastrium catenatum	.	5,6	.	.	.	0,4
Craspedomonader	.	0,2	15,2	16,8	9,7	2,5
Cyster av chrysophyceer	3,2	.	.	.	.	.
Cyster av Uroglena sp.	.	.	.	.	.	7,3
Desmarella moniliformis	.	.	17,0	0,5	.	.
Dinobryon bavaricum	.	0,5	.	6,3	.	.
Dinobryon crenulatum	.	14,1	2,4	0,8	.	.
Dinobryon divergens	.	3,2	.	23,8	22,5	0,3
Dinobryon sociale v.americanum	0,6	0,8	2,8	1,9	.	.
Løse celler Dinobryon spp.	.	0,4	.	4,6	1,2	0,4
Mallomonas caudata	.	.	8,0	18,6	6,0	2,4
Mallomonas cf.crassiquama	.	.	20,1	54,5	12,1	.
Mallomonas punctifera (M.reginae)	.	7,4	21,2	2,5	2,5	2,0
Mallomonas spp.	.	.	37,8	50,0	8,6	.
Ochromonas sp.	.	.	.	.	.	0,7
Ochromonas sp. (d=3.5-4)	14,6	11,6	4,0	1,6	4,7	5,2
Små chrysomonader (<7)	42,0	37,2	16,9	12,4	20,8	17,4
Store chrysomonader (>7)	27,6	18,9	5,2	8,6	8,6	7,8
Synura sp. (l=9-11 b=8-9)	.	.	.	.	22,3	5,6
Ubest.chrysomonade (Ochromonas sp.?)	.	0,4	.	.	.	.
Ubest.chrysophyce	4,2	.	0,1	.	0,9	0,2
Uroglena americana	.	292,8	.	.	32,6	3,0
Sum - Gullalger	92,2	393,7	167,1	206,2	152,8	55,2

Tabell 6 (forts.)

Bacillariophyceae (Kiselalger)

Eunotia lunaris	0,8	.	.	.	.	0,4
Nitzschia sp.	.	.	.	3,4	.	.
Rhizosolenia longiseta	.	.	1,2	2,7	0,3	.
Tabellaria flocculosa	.	0,8	.	.	0,4	0,4
Sum - Kiselalger	0,8	0,8	1,2	6,1	0,7	0,8

Cryptophyceae (Svelgflagellater)

Cryptomonas curvata	.	.	.	16,0	.	.
Cryptomonas erosa v.reflexa (Cr.refl.?)	.	0,4	93,0	74,2	10,6	4,2
Cryptomonas marssonii	.	.	.	29,7	.	1,6
Cryptomonas sp. (l=15-18)	5,0	.	99,1	239,8	70,2	11,1
Cryptomonas sp. (l=20-22)	4,3	15,9	38,2	35,0	44,5	14,0
Cryptomonas spp. (l=24-30)	1,0	9,0	209,6	505,5	68,9	44,6
Ubest.cryptomonade (Chroomonas sp.?)	0,4	17,0	137,6	267,1	23,3	3,0
Ubest.cryptomonade (l=6-8) Chro.acuta ?	.	.	.	.	0,5	0,2
Sum - Svelgflagellater	10,8	42,2	577,4	1167,3	218,0	78,7

Dinophyceae (Fureflagellater)

Gymnodinium cf.lacustre	154,7	1,2	.	.	2,4	1,3
Gymnodinium fuscum	.	.	.	53,0	.	3,4
Gymnodinium sp. (l=14-16)	3,4	11,1	3,2	3,2	7,2	1,1
Peridinium umbonatum	132,6	57,2	91,7	1284,0	75,5	28,6
Peridinium umbonatum (P.inconspicuum)	135,9	812,6	280,1	298,1	261,5	9,0
Ubest.dinoflagellat	8,0	0,4	.	.	.	.
Sum - Fureflagellater	434,5	882,5	375,0	1638,3	346,5	43,4

Xanthophyceae (Gulgrønnalger)

Isthmochloron trispinatum	.	0,7	.	.	.	.
Sum - Gulgrønnalger	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0

My-alger

My-alger	26,6	42,0	49,0	16,0	8,8	7,2
Sum - My-alge	26,6	42,0	49,0	16,0	8,8	7,2

Sum totalt :	2120,5	1365,7	1214,1	3121,7	739,7	186,8
--------------	--------	--------	--------	--------	-------	-------

Tabell 7. Dyreplankton i Søndre Puttjern i 2001 gitt som mg tørrvekt pr. m³ i sjiktet 0-6 m.

	22. mai	20. juni	17. juli	22. aug	19. sept	11. okt
Hjuldyr (Rotifera):						
Kellicottia longispina		0,14	2,22	18,60	8,00	0,82
Conochilus spp.		10,71				
Polyarthra spp.		0,50		0,70	2,10	1,55
Keratella cochlearis	0,03	0,61	1,67	1,45	1,45	0,30
Keratella hiemalis	0,08	0,46		0,39	0,52	0,06
Keratella serrulata				0,01		
Asplanchna priodonta				0,38	0,38	
Synchaeta spp.		0,21				
Filinia spp.		0,21	1,00	0,75	2,85	4,37
Sum Rotifera	0,11	12,86	4,89	22,28	15,30	7,09
Hoppekreps (Copepoda):						
Heterocope sp. naup.				0,05		
Eudiaptomus gracilis	0,25	1,78	0,66	14,23	3,03	4,20
Sum Calanoida	0,25	1,78	0,66	14,28	3,03	4,20
Cyclops scutifer	1,64	4,55	13,33	3,80		
Thermocyclops oithonoides				0,22		0,40
Cyclopoida ubest., cop.+naup.	12,25	6,68	1,58	4,14	3,05	2,34
Sum Cyclopoida	13,89	11,23	14,92	8,15	3,05	2,73
Vannlopper (Cladocera):						
Holopedium gibberum	0,05	3,26	0,29	0,32	5,31	3,69
Diaphanosoma brachyurum				0,44		
Ceriodaphnia quadrangula		2,79	1,05	6,16	0,89	
Bosmina longispina		3,27	1,98	0,89		
Bosmina longirostris	0,14	0,07		1,43	0,34	0,05
Polyphemus pediculus		0,05		0,04		
Sum Cladocera	0,19	9,44	3,31	9,28	6,54	3,73
Sum krepsdyrplankton	14,33	22,45	18,89	31,70	12,61	10,67
Sum dyreplankton	14,44	35,31	23,78	53,98	27,91	17,76

Tabell 8. Dyreplankton i Nordre Puttjern i 2001 gitt som mg tørrvekt pr. m³ i sjiktet 0-6 m.

Forekomst av *Chaoborus* er gitt som ant. individer pr. prøve (5-10 liter).

	22. mai	20. juni	17. juli	22. aug	19. sept	11. okt
Hjuldyr (Rotifera):						
Kellicottia longispina			0,10	0,80	1,50	
Conochilus spp.	0,19					
Polyarthra spp.		46,67	1,20	9,99	6,00	2,50
Keratella cochlearis	0,28	32,50	8,90	34,30	84,50	2,50
Keratella hiemalis	2,00	0,87				
Keratella serrulata	0,02					
Keratella sp. (K. testudo?)			1,00	17,82	1,25	0,10
Asplanchna priodonta		1,88	0,75		33,75	
Synchaeta spp.			0,30			0,30
Gastropus sp.		0,33				
Filinia spp.					0,75	1,20
Sum Rotifera	2,48	82,24	12,25	66,81	127,75	6,60
Hoppekreps (Copepoda):						
Eudiaptomus gracilis				3,16	18,38	4,10
Sum Calanoida	0,00	0,00	0,00	3,16	18,38	4,10
Cyclops scutifer		1,00				
Cyclops sp. (C. abyssorum?)					1,35	
Cyclopoida ubest., cop.+naup.	4,24	4,84	0,39	0,86	1,07	0,68
Sum Cyclopoida	4,24	5,84	0,39	0,86	2,42	0,68
Vannlopper (Cladocera):						
Bosmina longispina			0,96	0,54	0,11	
Bosmina longirostris				0,05		1,56
Polyphemus pediculus		0,08				
Sum Cladocera	0,00	0,08	0,96	0,59	0,11	1,56
Sum krepssdyrplankton	4,24	5,92	1,36	4,62	20,90	6,34
Sum dyreplankton	6,73	88,16	13,61	71,42	148,65	12,94
<i>Chaoborus flavicans</i>	1	1				

Tabell 9 Kjemiske analyseresultater for Puttjernsbekken (P1) i 2001

Parameter Dato	pH	Kond. mS/m	Alkalitet mmol/l	Turbiditet FNU	Farge mg/l Pt	Totalfosfor µg/l P	Totalnitrogen µg/l N	TOC mg/l C	Al/R µg/l	Al/lab µg/l	Al/lab µg/l
22.mai	5.94	3.13	0.047	0.97	44.9	11	290	6.8	117	107	10
22.juni	6.56	3.95	0.158	0.65	101.0	11	350	11.0	116	100	16
17.juli	6.20	4.02	0.095	1.03	104.0	13	420	11.8	163	160	3
22.aug.	6.43	3.81	0.117	1.10	141.0	18	490	15.1	174	173	1
19.sept.	6.88	3.38	1.657	1.10	129.0	13	415	14.1	154	153	1
11.okt.	5.96	2.98	0.072	1.20	117.0	10	430	13.8	166	149	17